

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

ДИПЛОМНА РОБОТА

Другий (Магістерський)

Освітній рівень

Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва спеціальності

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва спеціальності

на тему Метод забезпечення синхронізації хаотичних генераторів високої розмірності

ДРМТР 2020013.00.00

Виконав: студент 2 курсу, група ТР_м-19-1

підпис

Н.В. Ковбасовська

Ініціали, прізвище

Керівник: к-т техн. наук, доц.

підпис

О.С. Пивовар

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, проф.

підпис

С.К. Підченко

Ініціали, прізвище

2 _____ грудня _____ 2020 р.

Хмельницький, 2020

Хмельницький національний університет
Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій (ТМІТ)
Освітній рівень другий (магістерський)
Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
Освітня-професійна програма Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедрою __ ТМІТ __



С.К. Підченко

«3» __ вересня __ 2020 __ р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Ковбасовській Надії Віталіївні

1 Тема роботи: Метод забезпечення синхронізації хаотичних генераторів високої розмірності

Керівник роботи Пивовар Олег Сергійович, к.т.н, доцент.

Затверджено наказом по університету від « 1 » вересня 2020р. № 118

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 01.12.2020р.

3 Вихідні дані (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)


Мета роботи: оптимізація структури хаотичних систем телекомунікацій на основі запропонованого методу синхронізації хаотичних генераторів високої розмірності.

Об'єкт дослідження: нелінійні процеси оптимальної передачі телекомунікаційних сигналів.

Предмет дослідження: широкосмугові системи телекомунікацій із хаотичною синхронізацією генераторів детермінованого хаосу.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

1. Нелінійні динамічні системи, їх параметри та характеристики. 2. Генератори сигналів детермінованого хаосу високої розмірності. 3. Розробка методу та критеріїв синхронізації генераторів детермінованого хаосу високої розмірності 4. Моделювання процесу синхронізації, виділення зон синхронізації, зон стохастичного підсилення, аналіз багатовимірних проєкцій фазових площин, траєкторій руху та кореляційних властивостей.

Завдання отримала __  __ Н.В. Ковбасовська

Науковий керівник __  __ О.С. Пивовар

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	<i>Вибір тематики</i>	<i>до 1.09.20</i>	<i>обрано</i>
2	<i>Аналіз початкових даних</i>	<i>5.09. 20-14.09. 20</i>	<i>проаналізовано</i>
3	<i>Написання вступу та 1 розділу (аналіз)</i>	<i>15.09.20-30.09.20</i>	<i>виконано</i>
4	<i>Написання 2 розділу (аналогії та моделі)</i>	<i>1.10.20-14.10.20</i>	<i>виконано</i>
5	<i>Оформлення та подання публікацій</i>	<i>10.10.20-20.10.20</i>	<i>подано 2 публ.</i>
6	<i>Написання 3 розділу (розробка моделей, моделювання)</i>	<i>15.10.20-30.10.20</i>	<i>виконано</i>
7	<i>Обробка експериментальних даних, оформлення текстової частини</i>	<i>1.11.20-14.11.20</i>	<i>виконано</i>
8	<i>Обробка експериментальних даних оформлення графічної частини.</i>	<i>10.11.20-20.11.20</i>	<i>виконано</i>
9	<i>Корекція зауважень наукового керівника, рецензування</i>	<i>20.11.20-30.11.20</i>	<i>виконано</i>
10	<i>Підготовка доповіді , контроль антиплагіату</i>	<i>27.11.20-3.11.20</i>	<i>виконано</i>
11	<i>Подання готової роботи для допуску до захисту</i>	<i>1.12.20</i>	<i>виконано</i>
12	<i>Захист дипломної роботи магістра</i>	<i>1.12.20-14.12.20</i>	

Студентка



Підпис

Н.В. Ковбасовська

Ініціали, прізвище

Керівник роботи



Підпис

О.С. Пивовар

Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістрів на тему «Метод забезпечення синхронізації генераторів високої розмірності» виконана студенткою 2-го курсу гр. ТРМ-19-1 Ковбасовською Надією Віталіївною на кафедрі «Телекомунікації, медійні та інтелектуальні технології» Хмельницького національного університету у 2020р. Керівник роботи доц.каф. Пивовар Олег Сергійович.

Робота складається із вступу, 4 розділів, основних висновків по роботі, списку використаних джерел (48 бібліографічних посилання, 5 сторінок) та 5 додатків (22 сторінок). Загальний обсяг роботи в якому викладено основний зміст складає 78 сторінок і містить 35 рисунків на 35 сторінках по тексту та 2 таблиці, що займають 0,8 сторінки по тексту. Повний обсяг роботи - 122 сторінок.

Дипломна робота присвячена розгляду питань забезпечення та контролю рівня синхронізації в системах прихованого зв'язку із використанням хаотичних сигналів та явища хаотичного синхронного відгуку під час дії адитивних гаусівських завад. Для характеристики процесів хаотичної синхронізації запропоновано застосовувати поняття апертури атратора. На основі поняття апертури атратора запропоновано метод визначення похибки синхронізації та встановлено чисельний критерій розбігання фазових траєкторій. Запропоновано універсальну імітаційну модель для дослідження систем із хаотичним синхронним відгуком в рамках застосування генераторів високої розмірності. На основі розробленої моделі проведено імітаційне моделювання та побудовано залежності відносної завадостійкості від відношення сигнал-шум в каналі передачі цифрових даних.

Ключові слова: генератор сигналів детермінованого хаосу, апертура атратора, хаотична синхронізація, запас завадостійкості.

ABSTRACT

Master's thesis proposal «Method of synchronization of high-dimensional generators» written by Kovbasovska Nadiia Vitaliivna, a 2nd year student of group TRM-19-1 at the Department of Telecommunications, Media and Intellectual Technologies of Khmelnytskyi National University, 2020. Academic advisor - Pyvovar Oleg Serhiyovych, Associate Professor.

The thesis consists of an introduction, 4 sections, main scientific findings, a list of works cited (48 bibliographic references on 5 pages) and 5 appendices (22 pages). The total volume of the thesis in which the main content is stated is 78 pages; it contains 35 figures on 35 pages of text and 2 tables, occupying 0.8 pages of text. The full volume of the thesis is 122 pages.

The aim of the thesis is to review the issues of providing and controlling the level of synchronization in latent communication systems using chaotic signals and the phenomenon of chaotic synchronous response during the action of additive Gaussian interference. In order to characterize the processes of chaotic synchronization, it is proposed to apply the concept of attractor aperture. Based on the concept of the attractor aperture, a method for determining the synchronization error is proposed and a numerical criterion for the divergence of phase trajectories is established. A universal simulation model for the study of systems with chaotic synchronous response in the application of high-dimensional generators is proposed. Based on the developed model, simulation modeling is carried out and the dependences of relative noise immunity on signal-to-noise ratio in digital data transmission channel are constructed.

Keywords: deterministic chaos signal generator, attractor aperture, chaotic synchronization, noise immunity margin.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	9
ВСТУП	10
1 СИСТЕМИ ІЗ ХАОТИЧНОЮ ПОВЕДІНКОЮ	15
1.1 Нелінійна динаміка та її властивості	15
1.1.1 Основні поняття хаотичної динаміки	15
1.1.2 Багатомірний фазовий простір нелінійних динамічних систем	19
1.1.3 Ентропія нелінійних динамічних систем	20
1.1.4 Фрактальність нелінійних динамічних систем	22
1.2 Хаотичний режим роботи нелінійних систем	23
1.2.1 Дивні атрактори та їх особливості	23
1.2.2 Об'єм атрактора та показники Ляпунова	25
1.2.3 Інтервал автокореляції або час передбачення поведінки системи	27
1.3 Хаотична динаміка нелінійних систем	29
1.3.1 Різновиди хаотичної динаміки	29
1.3.2 Відмінні риси хаотичних процесів та їх застосування	31
1.3.3 Умови появи хаотичної динаміки	34
1.3.4 Критерії хаотичної динаміки	35
2 ХАОТИЧНА СИНХРОНІЗАЦІЯ ТА ХАОТИЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК	40
2.1 Синхронізація нелінійних динамічних систем	40
2.1.1 Загальні питання синхронізації осциляторів	40
2.1.2 Узагальнена синхронізація та її варіанти	42
2.1.3 Діагностування узагальненої синхронізації	45
2.2 Практичне застосування хаотичного режиму нелінійних систем	49
2.2.1 Організація зв'язку на основі хаотичних сигналів	49

	7
2.2.2 Хаотична дуплексна система із двобічною синхронізацією	54
2.2.3 Економічна ефективність систем телекомунікацій із хаотичними сигналами	57
3 ВИКОРИСТАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ХАОТИЧНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ.....	60
3.1 Нелінійні системи високого порядку із хаотичною поведінкою.....	60
3.1.1 Історичні аспекти пошуку операторів еволюції генераторів хаосу високого порядку.....	60
3.1.2 4D системи із хаотичними режимами.....	61
3.2 Апертура атрактора та динаміка розбігання фазових траєкторій генераторів високої розмірності.....	66
3.2.1 Апертура дивного атрактора.....	66
3.2.2 Динаміка розбігання фазових траєкторій генераторів високої розмірності.....	69
3.2.3 Вплив шуму на розбігання фазових траєкторій.....	75
4 ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ІЗ ХАОТИЧНОЮ СИНХРОНІЗАЦІЄЮ ТА ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	79
4.1 Універсальна модель дослідження хаотичної синхронізації.....	79
4.2 Передача цифрових повідомлень на основі хаотичної синхронізації.....	82
4.3 Вибір біфуркаційних параметрів для хаотичного відгуку.....	85
4.4 Результати досліджень за критерієм атракторної кореляції.....	87
ВИСНОВКИ.....	93
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	96

ДОДАТОК А ГЕНЕРАТОРИ ТА СИГНАЛИ ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСУ	101
ДОДАТОК Б СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ НА БАЗІ ХАОТИЧНИХ СИГНАЛІВ	103
ДОДАТОК В СУБМОДЕЛІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИНХРОНІЗЦІЇ ГЕНЕРАТОРІВ	105
ДОДАТОК Г ДЕМОНСТРАЦІЙНІ ПЛАКАТИ.....	109
ДОДАТОК Д СКАН-КОПІЇ ПУБЛІКАЦІЙ АВТОРА	116

СКРОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АКФ – автокореляційна функція

АС – аналоговий сигнал

ВАХ – вольт-амперна характеристика

ВКФ – взаємна кореляційна функція

ГРЦ – граничний цикл

ГДХ – генератор детермінованого хаосу

ДАТ – дивний атрактор

ДЗ – динамічна змінна (фазова змінна)

ДС – динамічна система

ІХС – індекс хаотичної синхронізації

НДС – нелінійна динамічна система

НШС – надширокосмуговий сигнал

ОЕ – оператор еволюції

САПР – система автоматизованого проектування

СДХ – сигнал детермінованого хаосу

СПІ – система передачі інформації

ТР – телекомунікація та радіотехніка

ХМК – хаотично – модульовані коливання

ХСХ – хаотична синхронізація

ФЗ – фазова змінна (динамічна змінна)

ФНЧ – фільтр низьких частот

ФПР – фазовий простір

ФПТ – фазовий портрет

ФТР – фазова траєкторія

ШСС – широкосмугові сигнали

ВСТУП

Синхронізація сигналів детермінованого хаосу (СДХ) пов'язаних нелінійних динамічних систем (НДС) є найбільш цікавим проявом нелінійних явищ природи, що активно розглядаються останнім часом [1]. Останніми роками воно привертає до себе все більш пильну увагу дослідників в галузях радіофізики, телекомунікацій, хімії, біології, соціології тощо. Цей факт обумовлений великим фундаментальним значенням цього явища природи, а також широким колом можливих практичних застосувань, що неможливо або важко реалізувати вже розробленими класичними методами та методиками [2].

Особливо активно СДХ намагаються використовуватися в системах передачі інформації (СП), а також під час аналізу взаємодії біологічних, фізіологічних, хімічних систем, тощо [3]. Зацікавленість застосуванням СДХ підтверджується все зростаюча кількість публікацій та цитувань за даними Web of Science та Scopus . Однак, незважаючи на значну цікавість до явища хаотичної синхронізації (ХСХ) і наявність великої кількості активно цитованих робіт по даній тематиці, говорити про те, що є явище ХСХ в НДС повністю вивчено, поки ще вельми зарано.

Існує безліч питань хаотичної динаміка, які вимагають ретельного подальшого вивчення. Одним з найбільш цікавих і найменш вивчених типів ХСХ є узагальнена синхронізація. Дослідження такого типу синхронізації починається з робіт Н.Ф. Рулькова зі співавторами у 1995р. Для діагностики режиму цей автор запропонував метод найближчих сусідів і метод допоміжної хаотичної системи [4]. В той же час К. Пірагаса [5] запропонував для діагностування режиму узагальненої синхронізації використовувати старший умовний показник Ляпунова та навів першу класифікацію цього режиму. Надалі з'явилися роботи [6-8] в яких основні положення щодо ХСХ були підтверджено практично, а також спрямовані на розробку нових методів діагностування появи режиму узагальненої синхронізації [9-15], виявлення

механізмів встановлення цього режиму його взаємозв'язку з іншими типами поведінки в пов'язаних НДС.

Однак, отримані теоретичні та практичні результати, висвітлювали білі плями узагальненої ХСХ під час односпрямованого зв'язку, наприклад, вплив шуму із різними законами розподілу на встановлення режиму узагальненої синхронізації [16,17], можливість ХСХ під час взаємодії хаотичних і періодичних збурень [18-20], можливість спостереження узагальненої ХСХ в бінарних системах [21] і інші.

Лише в останні десятиліття було виявлено [22], що режим узагальненої ХСХ може спостерігатися також і у мережах взаємно пов'язаних нелінійних елементів, де вважалося, що всі положення для односпрямованого зв'язку справедливі і для двоспрямованого, а метод допоміжної системи є універсальним [9], правомірність такого підходу і коректність отриманих результатів ніде не обговорювалися. Отже традиційна концепція узагальненої синхронізації потребує корегування, що тягне за собою розробку нових методів контролю та діагностики цього режиму, справедливих для різних НДС.

Іншим важливим питанням, якому приділено в літературних джерелах недостатньо уваги є режим ХСХ із перемежуванням на межі появи та зникнення синхронних режимів, що є одним з найбільш поширених нелінійних явищ в природі і описує один з класичних сценаріїв під час переходу від періодичних коливань до СДХ [23]. Явище перемежування також виникає і під час узагальненої ХСХ, однак, явище перемежування у інших типах ХСХ вивчено менш детально, особливо в рамках розгляду фазової ХСХ, синхронізації індукованої шумом, тощо. Особливу цікавість викликає можливість одночасного існування кількох різних типів перемежування в НДС в рамках виявлення умов [24-27], за яких така можливість реалізується.

Новітнім поглядом із точки зору теорії НДС є розгляд НДС високого порядку [28-30] як НДС низького порядку із взаємним зв'язком, де режим

перемежування фактично спричиняє появу новітніх форм дивних атракторів та хаотичної поведінки системи загалом.

Таким чином, на основі наведеного огляду можна зробити висновок про те, що актуальних питань, які потребують подальшого вивчення в рамках розгляду ХСХ і їх можливих застосувань в галузі телекомунікацій та радіотехніки є досить багато і вини потребують більш ретельного розгляду.

Метою роботи: оптимізація структури хаотичних систем телекомунікацій на основі запропонованого методу синхронізації хаотичних генераторів високої розмірності.

Для досягнення мети роботи під час дипломного проектування слід вирішити наступні **завдання**:

1. Провести критичний аналіз нелінійних явищ в системах зв'язку із хаотичними сигналами, виділити особливості хаотичної обробки та механізмів їх застосування в телекомунікаційних системах для забезпечення прихованості дії та інших тактичних характеристик.

2. Провести дослідження ряду нелінійних ефектів під час взаємодії хаотичних генераторів передавальної та приймальної частини в умовах узагальненої хаотичної синхронізації генераторів високої розмірності.

3. Розробити метод узагальненої синхронізації, придатний для практичного застосування в хаотичних телекомунікаційних системах прихованого зв'язку.

4. Провести імітаційне моделювання окремих модулів та телекомунікаційної системи загалом для передачі цифрових сигналів через застосування хаотичних сигналів в каналі передачі та хаотичної синхронізації на приймальному боці за запропонованим методом.

Об'єктом дослідження є нелінійні процеси передачі телекомунікаційних сигналів.

Предметом дослідження є широкосмугові системи телекомунікацій із хаотичною синхронізацією генераторів детермінованого хаосу.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Запропоновано метод синхронізації генераторів детермінованого хаосу, що ґрунтується на врахуванні об'єму атрактора під час застосування допоміжної хаотичної системи та дозволяє забезпечити роботу цифрових хаотичних телекомунікаційних систем за рівня відношення сигнал-шум до мінус 40дБ.

2. Запропоновано метод встановлення рівня співпадіння сигналів основного та допоміжного хаотичного генератора під час однобічної хаотичної синхронізації, що полягає у врахуванні тільки відносної зміни знаку різницевого сигналу по відношенню до середньої апертури атрактора основного та допоміжного генераторів хаосу, що дозволяє значно спростити апаратні витрати на побудову пропорційного детектора рівня хаотичної синхронізації.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розглянуто режими роботи, особливості, узагальнені параметри та характеристики динамічних систем, запропоновано класифікаційну схему динамічних систем за рядом ознак, в запропонованій класифікації виділено сукупність ознак, що конкретизують застосування нелінійних динамічних систем у телекомунікаціях.

2. Визначено основні механізми та ознаки переходу нелінійних динамічних систем до хаотичної поведінки, встановлено ряд критеріїв такого переходу, запропонована класифікаційна схема операторів еволюції, динаміка яких може привести до хаотичної поведінки, а також класифікаційна схема способів ідентифікації хаотичної поведінки.

3. Під час розгляду структур правої частини систем диференційних рівнянь для генераторів детермінованого хаосу 3-го та 4-го порядків запропоновано ряд класифікаційних ознак та класифікацію структури операторів еволюції нелінійних динамічних систем із хаотичною поведінкою.

4. Шляхом імітаційного моделювання виявлено зміна об'єму атрактора ведених хаотичних генераторів під час узагальненої синхронізації. Введено поняття апертури атрактора, запропоновано ряд методик обрахування

значення апертури атрактора. Врахування апертури синхронізованих хаотичних генераторів дозволило розробити новий критерій збіжності ведених генераторів за способом виявлення хаотичної синхронізації.

5. Розроблено універсальну імітаційну модель для дослідження передачі цифрових повідомлень на основі синхронних хаотичних відгуків ведених хаотичних генераторів. Проведено моделювання за умов зміни відношення сигнал шум та часового інтервалу дослідження результати моделювання підтвердили працездатність запропонованого методу хаотичної синхронізації для генераторів хаосу високої розмірності.

Апробація результатів досліджень. Результати досліджень представлені на конференції «Інелектуальний потенціал 2020» м.Хмельницький, 2020р та конференції «Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє» м. Київ 2020 (див. додаток Д).

Методи досліджень. Під час проведення досліджень в кваліфікаційній роботі магістра застосовувались методи теорії електричних кіл та сигналів, теорії аналізу стохастичних сигналів, математичні методи рішення систем диференціальних рівнянь, методи теорії дослідження нелінійних процесів та пристроїв, методи імітаційного, структурного та математичного моделювання (MATLAB, SIMULINK, GRAPH, програми офісного пакету), кореляційної теорії обробки сигналів.

1 СИСТЕМИ ІЗ ХАОТИЧНОЮ ПОВЕДІНКОЮ

1.1 Нелінійна динаміка та її властивості

1.1.1 Основні поняття хаотичної динаміки

Динамічними системами називають такий характер поведінки процесу де спостерігаються зміни в реальних ділянках часу. За структурою моделі динамічної системи ДС всі динамічні системи поділяють на лінійні (ЛДС) та нелінійні (НДС). Для розуміння суті вирішуваних завдань дамо деякі визначення та окреслимо певні властивості НДС, що розглядаються в рамках магістерської роботи.

Із математичної точки зору під ДС розуміють реальний або віртуальний об'єкт або процес, модель якого має поняття стану як сукупності значень динамічних(або фазових) змінних ДЗ $x_n(t)$ в момент часу t , і встановлено детермінований закон за функцією $F(x_n(t))$, що характеризує еволюцію початкового стану $x_n(t_0)$ плинном часу. Цей закон може бути виражений в різних математичних формах, тому в загальному випадку його називають оператором еволюції (ОЕ) [1]:

$$F\{x_1(t_0), \dots, x_n(t_0)\} \rightarrow \{x_1(t), \dots, x_n(t)\} \quad (1.1)$$

Хоча можливі різні форми (1.1) опису оператора еволюції (ОЕ), найчастіше його представляють диференціальним рівнянням:

$$\frac{dx_i(t)}{dt} = F\{x_1(t), \dots, x_n(t)\} \quad (1.2)$$

Сукупність всіх можливих станів ДС формує фазовий простір (ФПР). Розмірність ДС та її ФПР визначається числом ДЗ у (1.2). Із загальної точки

зору розвитку Всесвіту до ДС відносяться всі навколишні процеси, адже Всесвіт динамічно розвивається, це не тільки процеси що охоплюють галузь телекомунікації та радіотехніки (ТР), але і інші різноманітні нефізичні процеси [2].

На даний час єдиної, загальноприйнятої системи класифікації ДС немає, але поділ ДС можливо реалізувати на основі класифікаційних ознак природи походження та за умови розгляду властивостей ДС. Найчастіше за природою походження математичної моделі системи поділяють на: соціальні, хімічні, фізичні, біофізичні, екологічні, інформаційні та ряд інших, маловживаних галузей [3].

Відокремлювати ДС в першу чергу доцільно за наступними класифікаційними ознаками (рис.1.1):

- 1) можливість самоорганізації (із наявністю фазових переходів та без них);
- 2) наявність взаємодії із зовнішнім середовищем (відкриті та закриті);
- 3) можливість розсіювання енергії (дисипативні та консервативні);
- 4) характер поведінки фазових змінних (аналогові та дискретні);
- 5) структурна будова (прості та ієрархічні);
- 6) характери динамічної поведінки (детерміновані та стохастичні)
- 7) за типом функції оператора еволюції моделі (лінійні та нелінійні);

Розглянемо введені частини класифікаційного поділу для розуміння суті процесів лінгвістичного апарату опису ДС.

Можливість самоорганізації характеризує можливість переходів із одного характеру поведінки до іншого під впливом ОЕ або зовнішніх впливів під час динамічного розвитку. Така зміна поведінки системи часто проявляється через фазові переходи катастрофічного характеру. Системи які не мають подібних різних, катастрофічних зон поведінки будемо називати ламінарними (гнучкими, плавними). Самоорганізація також проявляється в збільшенні впорядкованості та зменшенні ентропії ДС [8].

Всі системи в нашому світі взаємодіють із зовнішнім середовищем через наявність дальнодіючих сил (гравітація, електромагнетизм), тому всі системи є відкритими. Згідно визначення Пригожина [2], це системи через які можуть протікати потоки енергії від навколишнього світу, зовнішні потоки енергії можуть приводити до фазових переходів та стимулювати процеси самоорганізації ДС (катастрофічної еволюції). Закриті системи це фактично відкриті системи, в яких зовнішніми потоками ентропії та енергії можливо знехтувати.

За характером динаміки процесів переходів одного різновиду енергії в інші із термодинаміки відоме поняття термодинамічної рівноваги. Усі системи врешті в рещт намагаються прямувати до термодинамічної рівноваги за законами термодинаміки. Відкриті ДС що знаходяться далеко до стану термодинамічної рівноваги називають дисипативними системами, в них проходять активні процесу перетворення форм енергії, що надходить ззовні, в напрямку термодинамічної рівноваги — розсіювання в тепло.

Саме такі системи часто демонструють складні хаотичні еволюційні процеси із появою складних структур із можливістю самоорганізації [8]. Консервативні (гамільтонові) ДС розглядаються як окремий випадок ДС, в яких дисипація відсутня, для таких систем характерний лише перехід стану із однієї моди в іншу, наприклад, перехід від генерації квазігармонічного сигналу до полі гармонічного, де енергія буде зосереджена тільки в деяких гармоніках без збільшення шуму [31].

Аналогові та цифрові системи відрізняються безперервним та дискретним характером зміни значень динамічних змінних (ДЗ), якщо хочаб одна ДЗ змінюється дискретно то ДС вважається дискретною. Слід зауважити, що під час вимірювання та моделювання за допомогою цифрових обчислювальних засобів аналогові ДС слід вважати дискретними!!!

З точки зору структурної будови ієрархічними системами називають такі ДС в яких спостерігається домінуюча дія одного фактору або динамічної змінної на інші фактори або динамічні змінні [7]. Такий вплив проявляється в

еволюційних змінах і поверненні ДС в стійкий стан рівноваги після припинення зовнішнього збурення фазового простору. Прості ДС такої особливості поведінки не мають. Саме структурна будова оператора еволюції відповідальна за ієрархічність або простоту системи в цьому сенсі.

Характер динамічної поведінки ДС найважливіший фактор, що обумовлює підходи до її моделювання. Детермінованими називаються такі ДС, ДЗ яких еволюціонують за жорстко визначеним законом, на можуть бути однозначно визначені наперед. Стохастичним системам властивий випадковий (шумоподібний) характер ДЗ, що описуються тільки в середньому, законами теорії ймовірностей [1].

ДИНАМІЧНІ СИСТЕМИ		
Можливість самоорганізації	Катастрофічні	Ламінарні
Взаємодія із зовн. середовищем	Відкриті	Закриті
Розсіювання енергії в системі	Дисипативні	Консервативні
Характер динаміки фазових змінних	Аналогові	Дискретні
Структурна будова	Прості	Ієрархічні
Характер динаміки системи	Детерміновані	Стохастичні
Тип оператора еволюції	Нелінійні	Лінійні

Рисунок 1.1 – Поділ динамічних систем за класифікаційними ознаками

Лінійні системи — це така модель системи, що значно спрощує математичний аналіз та прогнози щодо поведінки завдяки лінійному, або квазілінійному ОЕ. Лінійна ДС автоматично завжди є детермінованою. Нелінійна динамічна система (НДС) — це ДС із нелінійним ОЕ, тобто її фазові змінні еволюціонують нелінійним чином, та не підкоряються принципу суперпозиції. Для реальних НДС побудувати аналітичну модель ОЕ практично неможливо, що робить проблематичним і завдання

прогнозування стану [3] НДС, через надто складну динаміку, часто складно віднести або до детермінованої або до стохастичної ДС.

Зрозуміло, що така класифікація є неповною, наприклад, часто виділяють такі різновиди ДС автоколивальні та відкриті, неавтономні та автономні, із зосередженими та розподіленими елементами, тощо. Ці та інші рівні класифікаційних ознак будемо вже застосовувати для НДС, що надалі розглядатимуться, такими є складні, багатомірні, нелінійні системи із катастрофічним та хаотичним характером поведінки.

Отже дослідження НДС в режимах хаотичної та перехідної динаміки - одне із головних завдань сучасного природознавства в рамках побудови адекватних моделей та пошуку їх можливих застосувань в телекомунікації та радіотехніці.

1.1.2 Багатомірний фазовий простір нелінійних динамічних систем

Центральний елемент дослідження НДС — фазовий простір (ФПР) [32]. Для кожної ДС у ФПР можливо виділити фазовий портрет, фазовий портрет та фазовий простір часто ототожнюють, хоча насправді це різні поняття. Аналіз фазового портрета деякої НДС дозволяє встановити такі важливі для нас параметри системи [6]:

- 1) характер динамічної поведінки (хаотична, детермінована, шумоподібна);
- 2) параметри швидкості еволюції (показники Ляпунова);
- 3) точки рівноваги та точки біфуркації;
- 4) тип асимптотичної поведінки (форми атракторів);

На фазовому портреті можливо знайти точки рівноваги, що можуть бути стійкими або нестійкими. Невеликі збурення в точці стійкої рівноваги не порушують стійкості системи, в нестійких точках збурення будуть еволюціонувати аж до катастрофічної перебудови якісної поведінки НДС .

Фазовий портрет у ФПР може збільшуватись аж до нескінченості або зменшуватись, стягуючись в точку. Якщо фазовий портрет залишається незмінним то система є консервативною, в дисипативних НДС фазовий простір з часом змінюється з часом [6].

Особливий різновид ФПР це атрактор [2]. Серед усіх визначень атрактора найбільш слушним для завдань ТР є фізичне визначення: стан окремої динамічної системи, до якого вона прагне в процесі свого розвитку. Аперіодичні процеси в ДС формують атрактор у вигляді точки, періодичні – у вигляді граничного циклу, хаотичні процеси характеризуються дивним атрактором (рис.1.2), а у стохастичних процесів атрактор відсутній. Таким чином, по формі атрактора можливо робити висновок про загальну динаміку в цьому режимі[2].

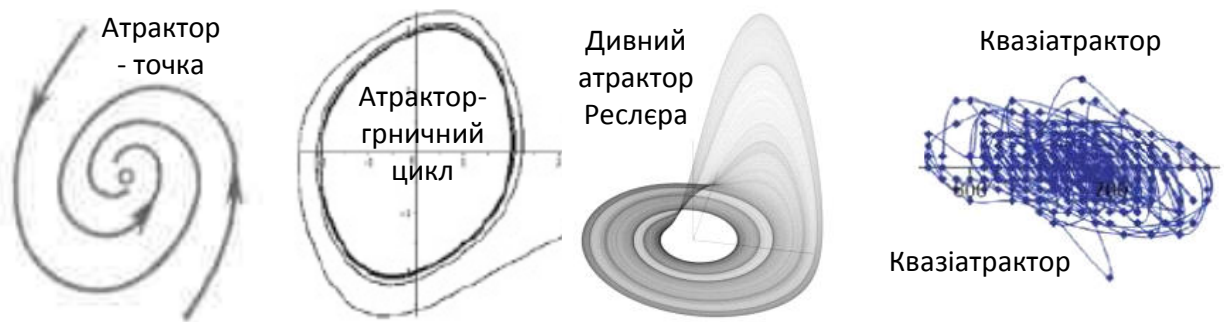


Рисунок 1.2 – Форми атракторів динамічних систем

Аналіз ФПР для аналізу ДС використовується в першу чергу, що дозволяє виявити особливості системи для практичних застосувань.

1.1.3 Ентропія нелінійних динамічних систем

Ентропія є мірою невпорядкованості системи, більша ентропія – більша невпорядкованість. Будь-яка НДС може бути охарактеризована параметром

ентропія, що може обраховуватись по різному, наприклад, Н-ентропія Шенона, S-ентропія Больцмана, K-ентропія Колмогорова-Сіная [1,2,7], тощо.

Для НДС, які можуть перебувати в дискретних станах X із щільністю розподілу ймовірності $p=p(X)$, ентропія Шенона визначається як:

$$H = -\sum_{i=1}^N \{p(x_i) \ln [p(x_i)]\} \quad (1.3)$$

або у формі математичного сподівання: $H = M \{-\ln [p(x)]\}$.

Відомо, що значення H - ентропії (1.3) набуває тим більше значення, чим менші значення має густина розподілу $p(x)$. Очевидно, що значення ФЗ обмежені x , то ентропія максимальна для рівномірного закону густини розподілу, а мінімальна для гаусівського закону розподілу.

Ентропія ДАТ вище ентропії граничного циклу [8]. Ентропія випадкової та хаотичної динаміки вище ентропії впорядкованого руху, отже зміна значення Н-ентропії під час еволюції НДС свідчить про зміну характеру динаміки НДС.

Особливо значущим було введення в практику дослідження НДС ентропії Колмогорова-Сіная (або метричної ентропії), що дозволило ввести чіткий критерій появи хаотичної поведінки як нестійкого за Ляпуновим руху із позитивною метричною ентропією $K > 0$ [5]. Аналізуючи ФПТ системи, K -ентропія визначається як:

$$K = \lim_{\substack{d(0) \rightarrow 0 \\ t \rightarrow \infty}} \frac{\ln [d(t)/d(0)]}{t} \quad (1.4)$$

де, $d(0)$, $d(t)$ — відстань між двома сусідніми ФТР в початковий та спостережуваний момент часу відповідно: $d(t) = |x_2(t) - x_1(t)|$. Таким чином K -ентропія характеризує ступінь розбігання ФТР, а значить, вона пов'язана з показниками Ляпунова.

Таким чином, як і ентропія Шенона, так і ентропія Колмогорова-Сіная характеризують впорядкованості системи. Якщо ентропія Колмогорова-Сіная

є виключно топологічною характеристикою НДС, то ентропія Шенона може бути застосована під час обробки результатів вимірювання у вигляді часових рядів.

1.1.4 Фрактальність нелінійних динамічних систем

Самоподібний об'єкт виглядає незмінним під час зміни масштабів його розгляду, при цьому самоподібність може бути жорсткою або квазісамоподібністю (наближеною). Не усі, але багато процесів, що протікають в природі і під час математичного моделювання мають властивість самоподібності, наприклад, турбулентні потоки рідини, ДАТ, математичні числові ряди, тощо. Подібні унікальні об'єкти та процеси Б. Мандельброт назвав фрак талами [31] (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Приклади фрактальних двомірних зображень

Фрактали характеризуються фрактальною розмірністю, що є топологічним параметром ФПР. Фрактальна розмірність задає можливий коефіцієнт заповнення N - розмірного простору фігурою нижчих розмірностей. Для одомірної кривої значення фрактальної розмірності D_H знаходиться в діапазоні від одиниці до двох, для поверхні в діапазоні від двох до трьох, точка має нульову фрактальну розмірність, а суцільна лінія одиничну [31].

Фрактальна розмірність застосовується в ТР, наприклад, для розв'язання задачі ідентифікації об'єктів радіолокації або розпізнання образів

хвибних цілей, тощо [32]. Фрактальний аналіз дозволяє зробити висновок про хаотичність, випадковість або регулярність динаміки НДС.

Для визначення фрактальної розмірності застосовують R/S–аналіз (метод нормованого розмаху) П. Херста [32]. Аналіз Херста дозволяє розрахувати однойменний показник H_R , що однозначно пов'язаний із фрактальною розмірністю як: $D_H = 2 - H_R$.

Показник Херста знаходиться через величину R/S , де R – розмах між значеннями функції приросту $x(i, n)$, а S — СКВ:

$$\begin{cases} R(i) = \max_{1 \leq i \leq n} \{x(i, n)\} - \min_{1 \leq i \leq n} \{x(i, n)\} \\ x(i, n) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i) \end{cases} \quad (1.5)$$

Співвідношення R/S пов'язано із показником Херста (1.5) виразом:

$$\frac{R}{S} = \left(\frac{n}{2}\right)^{H_R}, \quad S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x}_N)^2}, \quad (1.6)$$

де S - СКВ процесу.

Вирази (1.5,1.6) дають можливість отримати значення фрактальної розмірності для окремих ділянок та загального інтервалу спостереження, а отже визначити характер динаміки НДС в цілому. Знання фрактальної розмірності, що обрахована за вимірюваним часовим рядом дозволяє оцінити характер поведінки об'єкта дослідження та обрати відповідний математичний апарат подальшого аналізу.

1.2 Хаотичний режим роботи нелінійних систем

1.2.1 Дивні атрактори та їх особливості

Дослідження ФПР проводять на основі аналізу поведінки фазових траєкторій (ФТР) сукупності значень фазових змінних у суміжні ділянки

часу. Вперше, під час метеорологічних досліджень, Е. Лоренц, побудувавши систему рівнянь НДС і змінивши лише четвертий знак після коми в початкових умовах встановив факт «розбігання» ФТР в фазовому просторі НДС, при цьому результати моделювання не співпадали. Таким чином було встановлено базовий принцип поведінки фазових траєкторій НДС: «ефект метелика» - сильна залежність від початкових умов параметрів за однакового ОЕ [1,2].

Перша досліджувана нелінійна модель Е.Лоренца у формі диференціальних рівнянь виглядає так [3]:

$$\begin{cases} dx_1/dt = \sigma(x_1 - x_2) \\ dx_2/dt = rx_1 - x_2 - x_1x_3 \\ dx_3/dt = bx_1x_2 + x_1x_2 \end{cases} \quad (1.7)$$

де: x_1, x_2, x_3 – динамічні змінні; r, b, σ . — біфуркаційні параметри.

Рівняння (1.7) має тривимірний фазовий простір, із заданим характером нелінійності другого порядку (добуток фазових змінних), що описується системою диференціальних рівнянь першого порядку. Початкові умови для проведення інтегрування системи рівнянь називають початковими параметрам НДС.

Під час комп'ютерного моделювання Лоренц сподівався отримати атрактори типу точка або граничний цикл, однак за певних біфуркаційних параметрів ФТР складав структуру у вигляді подвійної спіралі або «метелика» (рис.1.4), що говорить про невпорядкованість поведінки НДС. ФТР такого типу назвали «дивним атрактором» з легкої руки Ф. Такенса» [2]. Особливістю таких фазових траєкторій є експоненційна розбіжність та дробна фрактальна розмірність.

Слід зазначити, що наявність дивного атрактора автоматично відповідає хаотичній динаміці НДС, а зворотнє твердження виконується не завжди. Вважається, що «зрозуміти» НДС означає скласти диференціальні рівняння її ОЕ, але іншою альтернативою є дослідження топології ФТР відповідно концепціям геометричного опису фізичних систем А. Пуанкаре

[31]. Вперше, С. Смейл запропонував дослідити ФПР системи топологічно, подальші дослідження підтвердили, що топологічні трансформації ФПР є відображенням реальних фізичних процесів.

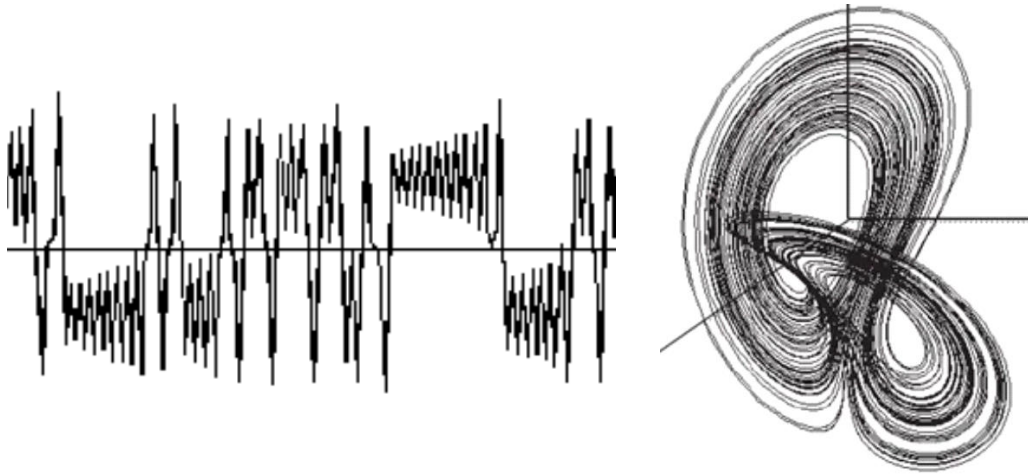


Рисунок 1.4 – Залежність значень фазової змінної (ліворуч) та атрактор (праворуч) для нелінійної динамічної системи Лоренца

Наприклад, розсіювання та втрата енергії НДС виражаються в стисканні габаритів фазового портрету, схожі фазові портрети відповідають за схожу динаміку. Через аналіз фазових портретів визначають: об'єм атрактора, коефіцієнти Ляпунова, інформаційну ентропію Шенона [8], тощо.

1.2.2 Об'єм атрактора та показники Ляпунова

В частині наукових публікацій [3,15,21] як критерій ступеня зміни хаотичності системи застосовують різницевий параметр об'єму атрактора ΔV_A . Об'єм атрактора при цьому обраховується як об'єм габаритного боксу у вигляді прямокутного багатовимірного паралелепіпеда. Однак сам атрактор, на диво, може мати не цілу розмірність, або розмірність ФПТ, укладеного в N -мірний фазовий простір, може бути менше N , та приймати дробові значення [31]. В такому випадку ребра габаритного боксу атрактора можливо

є відрізки із різною фрактальною розмірністю. Тому для обрахування об'єму атрактора мають застосовуватись фрактальні методи математичного аналізу.

Одним із потужних механізмів дослідження ФТР НДС є показники Ляпунова [3,5]. Їх застосовують для аналізу динаміки НДС в невеликій околиці ФПТ. Можливо сказати, що об'єм атрактора є інтегральною величиною, а показники Ляпунова – диференційною величиною, що характеризує НДС.

Із фізичної точки зору показники Ляпунова характеризують масштабну деформацію ФПТ вздовж ФТР (стискання або розтягування).

Вони характеризують ступінь розтягування та стиснення фазового портрета вздовж обраних траєкторій. Якщо дві близьких ФТР системи $x_1(t)$ і $x_{i+1}(t)$ обрати так що $x_{i+1}(t) = x_1(t) + \xi(t)$, $\xi(0) = \varepsilon$, $\varepsilon \rightarrow 0$, то функція виду [5]:

$$\Lambda[\xi(0)] = \lim_{t \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{t} \ln \left[\frac{\xi(t)}{\xi(0)} \right] \right\} \quad (1.8)$$

набуває сукупності значень $\{\lambda_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$. Ці значення і є показниками Ляпунова, сукупність яких формує спектр показників Ляпунова []. Кількість показників Ляпунова (1.9) відповідає розмірності НДС. Доданок всіх показників Ляпунова дорівнює опосередненому по ФТР значенню дивергенції векторного поля, яким можливо описати НДС:

$$\Lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \lim_{t \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{t} \int_0^t \operatorname{div} \left[\dot{\xi}(t) \right] dt \right\} \quad (1.9)$$

Доданок всіх показників Ляпунова (1.9) може виступати як критерій стійкості НДС. Так за умови нульового додатку НДС має стійку детерміновану динаміку, об'єм ФПТ незмінний, аттрактор виглядає як граничний цикл. За умови $\Lambda_{\Sigma} > 0$ об'єм ФПТ збільшується, динаміка поведінки НДС – хаотична. Якщо $\Lambda_{\Sigma} < 0$ об'єм ФПТ зменшується, енергія розсіюється, а аттрактор стягується в точку, що характерно систем із дисипацією без накачки енергії ззовні.

Особливість показників Ляпунова [5] полягає в тому, що вони містять інформацію і про дробову розмірність атрактора :

$$D_A = j + \sum_{i=1}^j \frac{\lambda_i}{|\lambda_{i+1}|} \quad (1.10)$$

де j - розмірність Ляпунова, визначається з виразів $\sum_{i=1}^j \lambda_i > 0$, $\sum_{i=1}^{j+1} \lambda_i < 0$.

Значення (1.10) дає верхню оцінку дробової розмірності. Загалом є ряд методів обчислення показників Ляпунова, однак усі методи спряжені із значними процесорними витратами для обрахунку.

1.2.3 Інтервал автокореляції або час передбачення поведінки системи

Завдання аналізу ДС за часовими рядами є спробою вирішення проблеми передбачення в теорії випадкових процесів для прогнозування стану системи на певному відрізку часу [20]. Такі методи прогнозування поділяють на глобальні та локальні.

Слід зазначити, що довгострокова непередбачуваність органічно властива не тільки квантовій (НДС), але й класичній механіці (квазі ЛДС) [1,2], хоча і має інший фізичний механізм появи, пов'язаний із похибками вимірювання. Відрізок часу, на якому можливо коректне прогнозування динаміки системи називається часом або горизонтом передбачення T_{for} .

Класифікація методів прогнозування [32] будується на основі розгляду областей визначення параметрів апроксимуючої функції f , яка рекурентно встановлює наступне значення (1.11) за одним або кількома попередніми значеннями часового ряду:

$$a_n = f \left\{ T_{for}, n, a_{n-1}, \dots, a_{n-p} \right\}, \quad (1.11)$$

де, n та p — цілі числа. Глобальні методи аналізу поведінки застосовують поняття авторегресії, ковзаючого середнього, тощо. Завдання

глобального прогнозування полягає у визначенні тренду динаміки НДС, саме для цього застосовуються описаний вище фрактальний аналіз та фрактальна розмірність. Локальні методи - сингулярний спектральний аналіз (ССА), локальна апроксимація (ЛА) та їх комбінацію [21].

Метод ССА визначає домінуючі складові часового ряду та реалізує пригнічення шуму. Метод ЛА може бути застосований для прогнозування нерегулярних рядів без інформації про початкові умови, параметри та ОЕ НДС, для реалізації адекватного прогнозу довжина часового ряду має бути значною, а шумова складова має прагнути до нуля. Комбінований метод дозволяє подолати недоліки методів ССА та ЛА, але характеризується ускладненим алгоритмом [8].

Величина часу передбачення найбільша для детермінованого режиму НДС і прагне до нуля для хаотичних та випадкових НДС. Також він залежить від вимірювальних і обчислювальних можливостей процесу встановлення його значення.

Виділяють три аспекти, що обмежують термін передбачення процесу:

1) Виміряні параметри процесу завжди відрізняється від реальних, завдяки похибкам, що вносять вимірювальні прилади.

2) Реальні процеси завжди перебувають під зовнішніх впливів, що мають флуктуаційні та детерміновані компоненти, отже такі впливи можуть незаконно переведені в компоненти моделі.

3) неточність власне математичної моделі процесу та її параметрів – структурна та параметрична невизначеність .

Прогноз значень НДС обмежено у часі. Час передбачення T_{for} пов'язаний із ентропією Колмогорова-Сіная (1.10) виразом:

$$T_{for}(K) \sim \frac{1}{K} \log \frac{1}{\varepsilon} \quad (1.12)$$

де ε — відносна похибка даних значень фазових змінних.

Також час передбачення (1.12) пов'язаний із показником Ляпунова як:

$$T_{for}(\lambda) \sim \frac{1}{\lambda_{MAX}} \log \frac{1}{\varepsilon} \quad (1.13)$$

Із практичної точки зору за (1.12), (1.13) часто розраховують за спрощеними формулами:

$$T_{for}(K) \sim 1/K, \quad T_{for}(\lambda) \sim 1/\lambda_{MAX} \quad (1.14)$$

Таким чином «час передбачення» (інтервал автокореляції) має важливе значення для складання диференційного рівняння роботи динамічної системи, та є критерієм коректності рівняння вимірювання, а також є критерієм дискретизації під час моделювання реальних об'єктів.

1.3 Хаотична динаміка нелінійних систем

1.3.1 Різновиди хаотичної динаміки

Характерними рисами дисипативних НДС вважають[2]:

- 1) нестійкість ФТР до малих збурень;
- 2) чутливість значень ФТР до початкових умов;
- 3) ергодичність динамічного процесу побудови ФТР;
- 4) фрактальність ФПТ;
- 5) формування в фазовому просторі ДАТ.

Ці риси також є підтвердженням хаотичної динаміки в системі.

Як вже зазначалось, еволюцію будь-якої системи можливо розглядати як хаотичну, випадкову та детерміновану, однак, якщо детермінізм процесу розуміють усі однаково, чіткого визначення відмінностей хаосу від стохастики не визначено [1]. В деяких галузях, далеких від фізики, такі хаотичні та випадкові процеси ототожнюються.

Реальна дисипативна НДС може входити в різні динамічні режими залежно від параметрів та зовнішніх впливів (див.рис.А.1). Хаос може

переходити в детермінізм і навпаки. Існує ряд якісних та кількісних способів ідентифікації процесів на основі аналізу параметрів, розглянутих вище.

Одним із зручних способів аналізу є аналіз часу передбачення за нормованою кореляційною функцією [8]:

$$D(t) = \langle y(t)z(t) \rangle / \sqrt{\langle y^2(t) \rangle \langle z^2(t) \rangle}, \quad (1.15)$$

де як змінні діють функції результату вимірювання та моделювання.

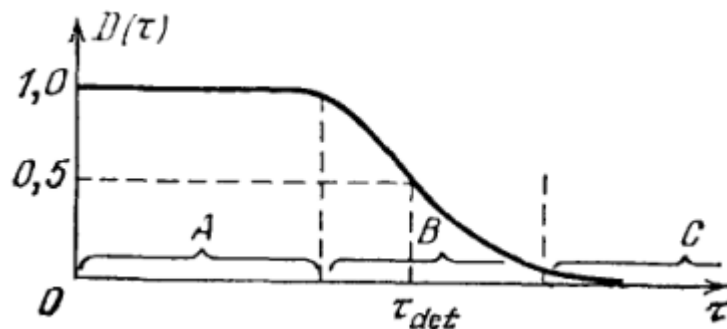


Рисунок 1.5 – Залежність модуля ступеня детермінованості процесів від часу спостереження

Залежність ступеня детермінованості (1.15) від часу показана на рис.1.5, де можливо виділити три зони А —детермінованої поведінки, В — область хаотичної поведінки, С — область випадкової поведінки. Якщо встановити критерієм для визначення часу передбачення значення половинного рівня нормованої кореляційної функції, як це робиться завжди, то можливо визначити час спостереження, або час кореляції, що необхідний для поділу зон.

Виконати ідентифікацію типу процесів можна, і за показниками Ляпунова [5]:

- 1) для детермінованого процесу, $\lambda = 0$, час передбачення прямує до нескінченості;
- 2) для хаотичного процесу $\lambda \neq 0$, час передбачення обернено пропорційний максимальному показнику Ляпунова;
- 3) для випадкового процесу $\lambda \rightarrow \infty$, час прямує до нуля.

З розглянутих трьох найбільш придатних для практичного втілення способів ідентифікації режимів НДС, найдоцільнішим для застосування є фрактальний метод, перевага в можливості отримання типу режиму без моделювання процесу, побудови ФПТ та обчислення показників Ляпунова або ВКФ [31].

1.3.2 Відмінні риси хаотичних процесів та їх застосування

Загалом виділяють три відмінні риси хаотичних процесів [33], завдяки яким перспективно застосування СДХ в телекомунікаціях та радіотехніці (ТР):

1) Широкопосмуговість. СДХ неперіодичні і мають суцільний спектр. Спектр багатьох типів СДХ займає досить широку смугу, а обвідну спектру можливо задавати через встановлення значення біфуркаційних параметрів. У системах зв'язку широкопосмугові сигнали (ШСС) використовуються для боротьби із багатопроблемним поширенням в нестаціонарних каналах. Таким чином, хаотичні сигнали потенційно можуть мати застосування для систем надширокопосмугових (НШС) систем зв'язку.

2) Складність. СДХ мають складну нерегулярну структуру. Один і той же генератор детермінованого хаосу (ГДХ) може створювати абсолютно різні процеси навіть за умови незначної зміни початкових умов. Це суттєво ускладнює визначення структури генератора за його сигналом і передбачення ходу процесу на тривалий час. Сигнали складної форми і непередбачуваної поведінки є класичними видами сигналів криптографії, що дає ще одну можливість застосування СДХ в цьому напрямку.

3) Ортогональність. Через шумоподібність СДХ, їх автокореляційна функція (АКФ) швидко згасає із зростанням інтервалу часу (див.рис.А.2,рис.А.3). Тому сигнали від двох, однотипних генераторів цілком можна вважати незалежними, або ортогональними. Це властивість вказує на

можливість застосування СДХ для організації багатокористувацького доступу у єдиному спільному середовищі.

Ці три особливості СДХ відкривають широкі можливості для практичних застосувань в таких напрямках ТР як: синхронізація приймача і передавача [34]; узгоджена фільтрація шумів [35]; нелінійне підсилення сигналу шумом, розробка алгоритмів функціонування сучасних кодеків, що дозволяють уявити довільне повідомлення через символічну динаміку хаотичної системи [36]. Запропоновано ряд конкретних схем передачі інформації, що використовують СДХ, зокрема, схема хаотичної маскувannya інформаційного сигналу [35]; схеми з нелінійним підмішуванням інформаційного сигналу в хаотичний [38] та ін. Створені перші прямохаотичні СП, в яких СДХ виступають в якості носія інформації, що генерується безпосередньо в зоні частот передачі [37].

Застосування СДХ стало настільки привабливим, що розроблено цілий спектр методів отримання хаотично-модульованих коливань (ХМК). Хаотична модуляція має цілий ряд переваг в порівнянні з традиційно використовуваною модуляцією для гармонійного сигналу. Якщо у випадку гармонічних сигналів незалежних параметрів фактично всього два: амплітуда та повна фаза, то в разі ХМК таких незалежних параметрів, а отже і способів модуляції значно більше [2]. Широкопосмуговість, шумоподібність та можливість синхронізації хаотичних систем у ТР дають їм потенційні переваги над традиційними системами ТР, що базуються на псевдовипадкових послідовностей (ПВП).

В численних роботах продемонстрована можливість застосування СДХ для захисту інформації через підхід, що отримав назву «хаотичного маскувannya» (chaotic masking) [24,34,36,37]. Він полягає в тому, що в на передавальному боці до інформаційного повідомлення додається СДХ, а в приймачі для виділення інформаційного повідомлення використано властивість робастності процесу синхронізації хаотичних систем. Оскільки корисний сигнал має принципово іншу форму, ніж хаотичний, його можна

відновити, подаючи на вхід приймача суміш інформаційного і хаотичного сигналів а надалі компенсувати із вхідного сигналу. Проведення такого процесу неможливо в лінійних системах та класичних способах телекомунікацій.

Також на теперішній час запропоновані різні методи використання хаотичних процесів для збереження, стискання та кодування інформації [7], крім того, починають розвиватися кардинально нові інформаційні системи - хаотичні процесори, що найбільш ефективно застосовують для роботи із двомірними та тривимірними зображеннями, наприклад, програмний комплекс «Associative Memory for Pictures», систем керування факсами «FacsDataWizard», програмний комплекс «Незабудка» [33]. Інформація в таких хаотичних системах запам'ятовується і зберігається у вигляді траєкторій певної дискретної хаотичної системи. Під час запуску за довільних випадкових умов, фазова траєкторія (ФТР) «притягується» до одного з наявних циклів і відтворює записану інформацію.

Сфера застосування СДХ не обмежується системами у ТР із розширенням спектра. Вони можуть бути використані для маскуванню інформації, що передається і без розширення спектра, тобто при збігу смуги частот корисного і переданого сигналів [3,8,34].

Ідея більшості запропонованих телекомунікаційних рішень базується на синхронізації приймачем вихідного незбуреного модуляцією хаотичного сигналу, що генерується передавачем. За допомогою таких схем зв'язку може передаватися і аналогова, і цифрова інформація з різними швидкостями та ступенем захисту від несанкціонованого доступу[3]. Крім того, через використання невластивих класичним методам способів модуляції можлива побудова нових методів ущільнення каналів, що особливо важливо в багатокористувацьких комунікаційних системах [3].

Таким чином, шумоподібність та самосинхронізованість систем, заснованих на хаосі, дають ряд потенційних переваг над традиційними системами з розширенням спектра, що базуються на псевдовипадкових

послідовностях. Крім того, хаотичні системи ТР допускають можливість більш простий апаратної реалізації з більшою енергетичною ефективністю і більш високою швидкістю за рахунок реалізації багатьох функцій телекомунікаційних каналів одночасно.

1.3.3 Умови появи хаотичної динаміки

Лінійні системи в принципі не можуть мати хаотичну поведінку, обов'язковою умовою наявності хаосу є нелінійність ОЕ. Якщо НДС оперує аналоговими ДЗ то така система на площині теж не може бути хаотичною через неможливість створювати дивний атрактор (див.рис.А.3), кількість розмірностей ФПР має дорівнювати або більше 3 (просторові системи) [1,2]. Однак цифрова НДС за умови певних значень параметрів може проявити хаотичну поведінку в одновірному або двовірному просторі у вигляді каскадів дискретних відображень, що описуються різницевиими рівняннями

Другою необхідною умовою появи хаотичної поведінки - це глобальна стійкість і наявність точок біфуркації (рис.1.6). У загальному розумінні під поняттям стійкість розуміють властивість ДС зберігати поточний стан всупереч зовнішнім збуренням [3,5,8]. Стійкість характеризують відгуком на збурення ДС, що знаходиться в стані рівноваги.

До відкриття сигналів детермінованого хаосу (СДХ) було відомо три стійких стани ДС: стан рівноваги, періодичний рух, квазіперіодичний рух. Для першого стану аттрактор- точка, для другого аттрактором є граничний цикл, і квазіперіодичний рух можливий коли ФТР формують аттрактор у вигляді т-мірного тору. ГДХ формує четвертий стійкий стан системи у вигляді дивного атрактора [2].

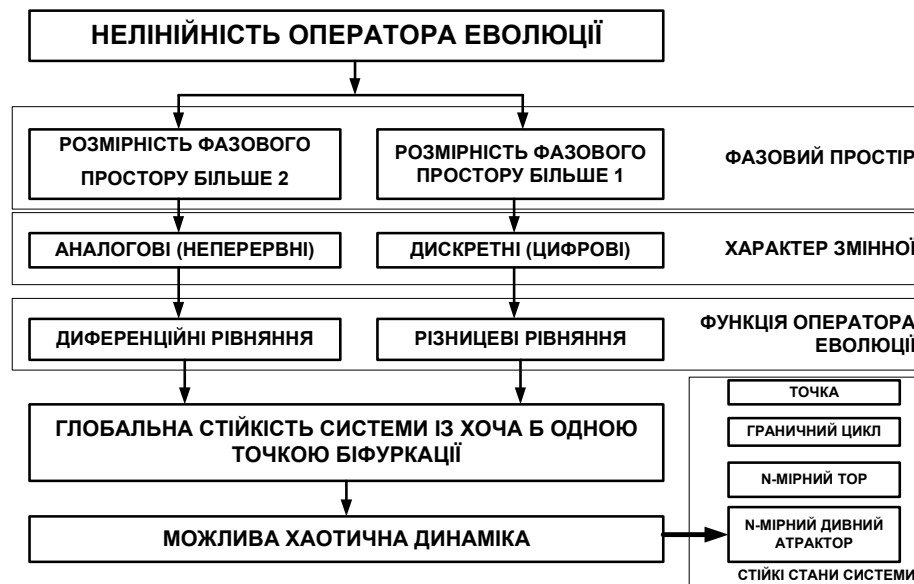


Рисунок 1.6 – Необхідні умови для появи хаотичної поведінки системи

Якщо ФПТ розташовується в обмеженій області простору, то кажуть, що система стійка за Лагранжем. ДАТ має обмежений ФПТ, отже динаміка системи стійка за Лагранжем [2].

Але, дисипативна НДС може мати різну динаміку, наприклад, зміна параметру НДС призводить до зміни характеру поведінки. І залежність ДЗ від параметру ОЕ називається біфуркаційною діаграмою. За умови перетинання параметром критичного значення характер динаміки може різко змінитися, таке значення називають біфуркаційним.

Отже спочатку стійка НДС, в процесі еволюціонування досягає біфуркаційного стану, що відповідає межі стійкості ДС, і вона починає динамічно змінюватись, а флуктуації та осциляції, які виникають в ній, забезпечують процес самоорганізації нової, ще більш стійкої структури на даному ієрархічному рівні еволюції.

1.3.4 Критерії хаотичної динаміки

Виходячи із попередніх зауважень динаміку НДС можна вважати хаотичною якщо вона має наступні властивості:

- 1) чутливість до початкових умов ;
- 2) топологічне змішування в ФПР;
- 3) щільне розміщення квазіперіодичних орбіт в ФПР;
- 4) фрактальна структура спектру;
- 5) ФПТ являє собою ДАТ.

Чутливість НДС до початкових умов називають також «ефектом метелика» і означає, що всі точки ФТР в ФПР, що були геометрично близькі під час еволюції значно віддаляються.

Топологічне змішування (транзитивність) за умови наявності хаотичної динаміки означає такий механізм розширення системи, за якого одна зона системи U на деякій стадії розширення перетинається або накладається на будь-яку іншу область V . (рис. 1.7) [11].

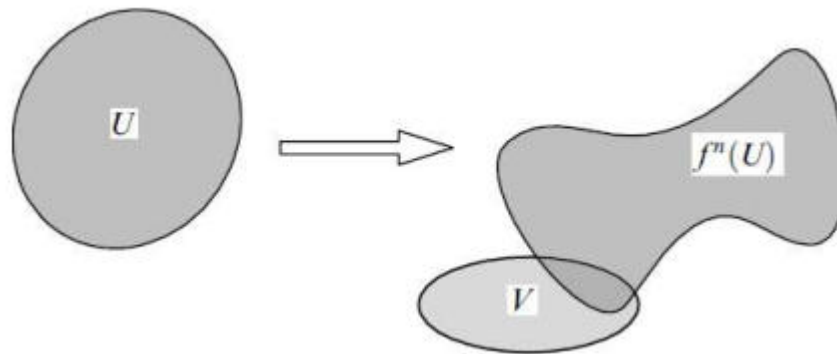


Рисунок 1.7 – Механізм топологічного змішування

Щільність періодичних ФТР означає, що в мізерних околицях довільної точки, що належить ФПТ системи, існує хоча б одна, а значить і нескінченна кількість ФТР які не перетинаються між собою.

Ще одним індикатором хаотичного режиму є хаотична сукупність точок перетину Пуанкаре [2,3]. Перетин Пуанкаре це площина, яка перетинає ФПТ системи (рис.1.8). Перетини Пуанкаре граничного циклу є точкою, перетини тора сукупністю точок що являють собою топологічне коло, а перетин ДАТ являє собою складний рисунок, можливо із декількома відокремленими зонами. Однак, для ідентифікації за топологічним змішуванням необхідно побудувати ФПТ.

Раніш зазначалось, що існують і інші, крім вказаних ідентифікатори хаотичного режиму: значення показників Ляпунова, динаміка ентропії, дробна фрактальна розмірність або інтервал кореляції.

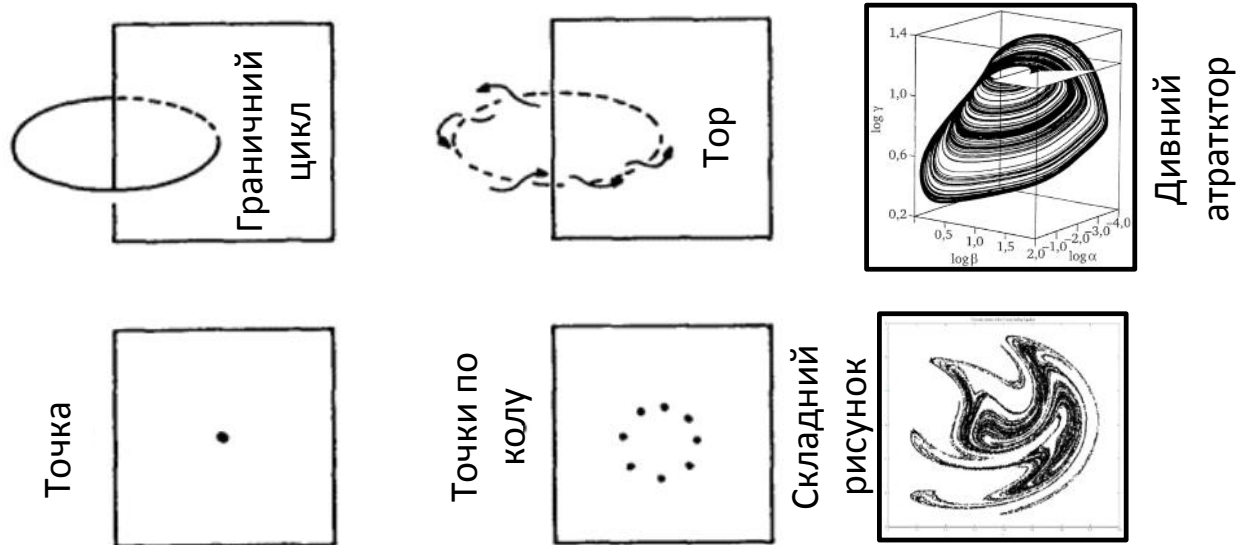


Рисунок 1.8 – Перетини Пуанкаре стійких станів нелінійних динамічних систем

Для дослідження властивостей НДС широко використовується підхід, заснований на аналізі сигналів фазових змінних НДС і це дозволяє виділити ще декілька способів (рис.1.9) виявлення хаотичної поведінки:

- 1) швидке спадання АКФ;
- 2) наявність в спектрі низькочастотної суцільної складової.
- 3) візуальний аналіз випадковості всіх фазових змінних :
- 4) дослідження визначника матриці Грама на основі аналізу ВКФ;

Якщо динаміка НДС є періодичною або квазіперіодичною, то і АКФ буде періодичною або квазіперіодичною відповідно, за хаотичної динаміки форма АКФ має наближатися до дельта-імпульсу із зростанням часового інтервалу аналізу.

Характер форми спектру під час ідентифікації СДХ є одним із простих, надійних та практичних способів встановлення хаотичного режиму. Якщо

НДС має періодичну динаміку, то спектр, визначений за часовим рядом, буде дискретним, та складатись із гармонік основної частоти [3].



Рисунок 1.9 – Класифікація способів ідентифікації хаотичних режимів нелінійних динамічних систем

Якщо НДС має квазіперіодичну динаміку то спектр складається із декількох основних частот із гармоніками кожної із них , найчастіше бігармонічний (рис.1.10). У випадку переходу до хаотичної динаміки у спектрі виникає суцільна складова, що обов'язково розташовано в зоні субгармонік основної частоти, що легко виявляється ФНЧ. За наявності хаотичного режиму - спектр суцільний, близький до спектру БГШ:

Визначити хаотичний режим можливо також візуально [18], за поведінкою фазових змінних у часовій зоні. По перше, всі ДЗ мають мати «шумоподібний» характер, по-друге – форма сигналу СДХ в переважній більшості виглядає як «квазіперіодичний імпульсний сигнал із затухаючими спалахами на фронтах». Зрозуміло , що таким чином можливо виявити хаос

лише наближено, але за умови достатнього досвіду вдається факт хаотичного режиму встановити практично повністю.

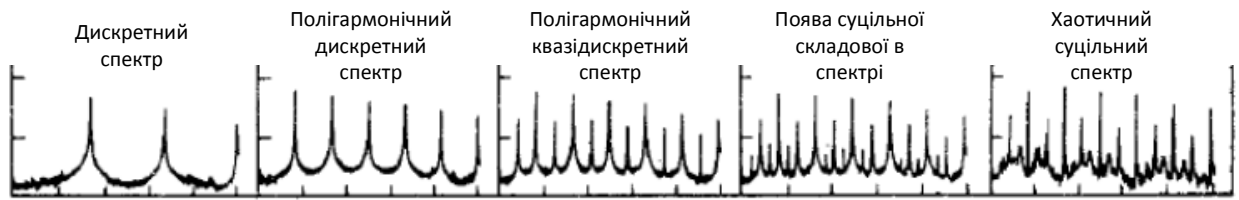


Рисунок 1.10 – Спектри нелінійної динамічної системи отримані в результаті зміни режимів роботи через зміну біфуркаційного параметра

Існує ще один шлях ідентифікації хаотичного режиму на основі розгляду динаміки зміни ентропії за S-теоремою Клімонтовіча, де доводиться, що для процесів самоорганізації які відбуваються під час встановлення стійких станів діє закон зменшення ентропії [8].

Суть закону зводиться до того, що під час віддалення від рівноважного стану через зміну керуючого параметра [8], питома ентропія(1.16) відносно середньої енергії зменшується, що можливо перевірити за часовими рядами:

$$S_0 - S_1 = - \int \ln [f_1(x)/f_0(x)] dx \geq 0 \quad (1.16)$$

де, f_0, f_1 : S_0, S_1 — функції розподілу миттєвих значень та ентропії відповідно виділених станів системи, що взаємно аналізуються.

Найбільш широко застосовуваними серед вказаних критеріїв хаосу в ТР застосовуються методи часових рядів: спектральний метод, методи кореляції, а серед математичних методів аналізу - метод показників Ляпунова.

2 ХАОТИЧНА СИНХРОНІЗАЦІЯ ТА ХАОТИЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК

2.1 Синхронізація нелінійних динамічних систем

2.1.1 Загальні питання синхронізації осциляторів

Явище синхронізації маятникових осциляторів відкрито у давньому 1665 році Х.Гюйгенсом. Він виявив, що маятники двох годинників, розташованих на відстані на одній стіні із часом синхронізуються і пояснив це їх взаємодією через вібрацію стіни. Отже синхронізацією називається підстройка ритмів коливальних систем якщо діє слабкий зв'язок між ними. При цьому виникає стійке співвідношення між фазами коливань систем на одній частоті. Головна особливість взаємного впливу, що змінюється ритми обох осциляторів [39].

В загальному випадку взаємодія двох зв'язаних систем несиметрична. Якщо дія в одному напрямку набагато більша за дію в протилежному напрямку ми маємо випадок зовнішньої синхронізації або однобічної синхронізації [27]. Якщо кількість осциляторів більше двох, то існує багато моделей зв'язку між осциляторами: однобічна, двобічна, коротка, ієрархічна, нейроподібна (рис.2.1), тощо.

Велику зацікавленість викликає процес синхронізації великої групи осциляторів, де всі взаємодіють між собою. В цьому випадку на кожен осцилятор діє загальна сила взаємодії, що приводить до важливих наслідків, а саме – реалізації процесів самоорганізації в системі. Самоорганізація це поява впорядкованих структур в відкритих системах, що обмінюються із зовнішнім світом, масою, енергією, інформацією, тощо. Наука, що займається процесами самоорганізації в нелінійних системах називається синергетика [8,21].

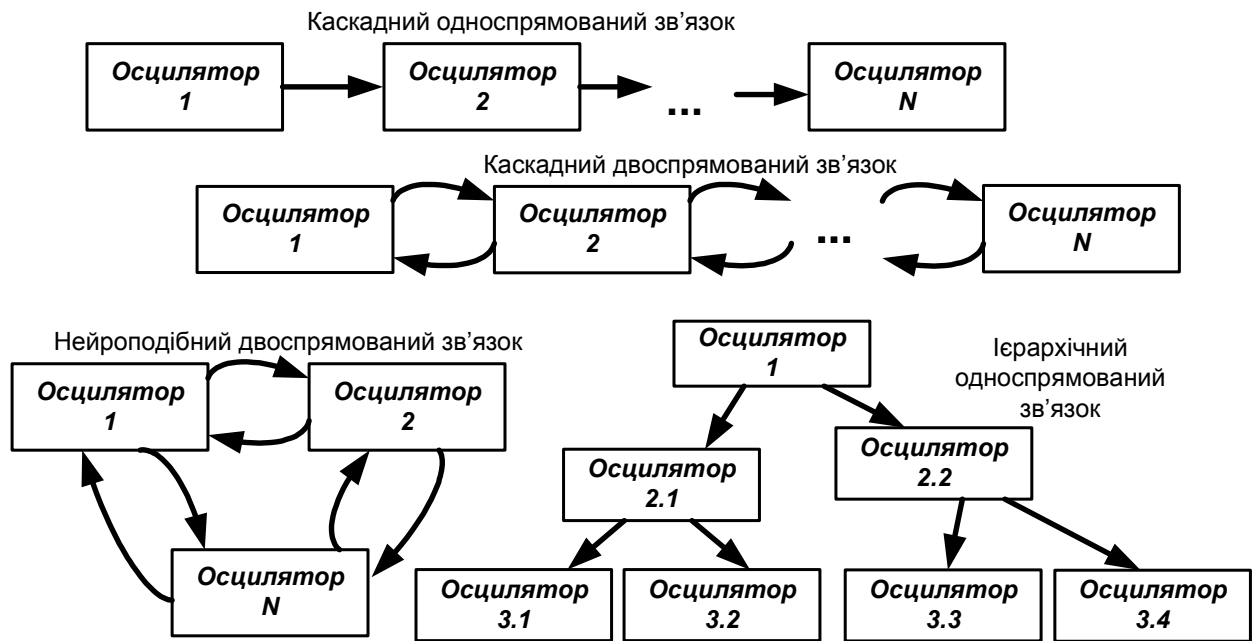


Рисунок 2.1 – Деякі різновиди зв'язку між багатьма осциляторами під час синхронізації

До недавнього часу в рамках дослідження синхронізації розглядалися в основному процеси під час синхронізації гармонічних осциляторів, для яких побудовано ряд універсальних моделей як для пари, так і для великої групи осциляторів. Із розвитком теорії динамічного хаосу було знайдено велику кількість НДС що демонструють хаотичну синхронну поведінку у зв'язаних системах. При цьому виділяють повну синхронізацію, лаг-синхронізацію, узагальнену синхронізацію, частотну, фазову, часткову хаотичну синхронізацію [14].

Особливу роль під час дослідження синхронізації ГДХ відіграють діючі на систему завади у вигляді стохастичних процесів (шуми). В класичних СП шум відіграє деструктивну роль та приводить до втрат інформації, базовий спосіб боротьби з шумом – оптимальна обробка (кореляційна обробка та оптимальна фільтрація). В НДС шум може відігравати як деструктивну, так і конструктивну роль. Наприклад, загальний шум може призвести до синхронізації двох хаотичних систем, що не взаємодіють між собою, такий різновид синхронізації називають синхронізацією, індукованою шумом [15].

Останніми роками процеси хаотичної синхронізації пригортають увагу фахівців через можливість застосування під час створення систем прихованого зв'язку. Більшість способів прихованого зв'язку на основі СДХ ґрунтується на застосуванні повної хаотичної синхронізації, де ФТР двох ГДХ повторюють один одного, а ФПТ стають ідентичними. Головною перевагою застосування хаотичної синхронізації є висока стійкість до шумів через вже згадуваний ефект хаотичної фільтрації [19].

Під час розгляду хаотичної синхронізації також вживають термін «хаотичний синхронний відгук» [3], що застосовується для осциляторів які можуть бути представлені у вигляді кільцевої структури (рис.2.2), де кільцева структура веденого ГДХ розривається і в її коло, в певній пропорції додається сигнал ведучого ГДХ.

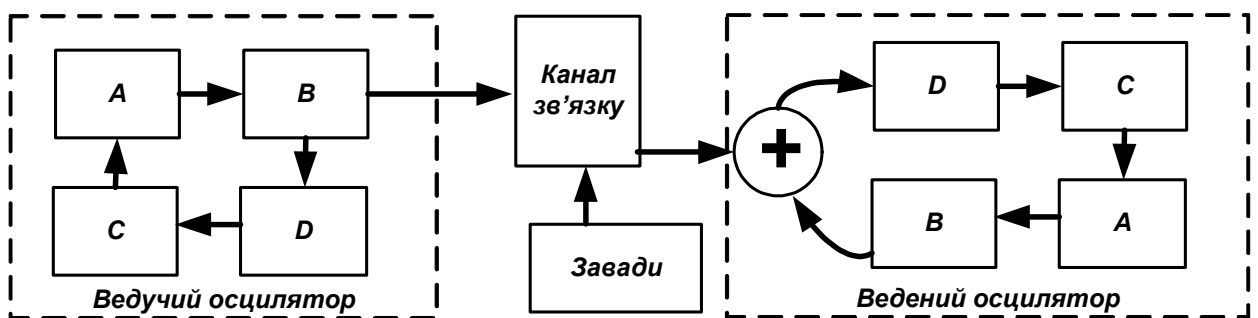


Рисунок 2.2 – Декомпозиція хаотичних осциляторів та формування зв'язку типу «синхронний відгук»

Найчастіше СПІ реалізовані на практиці працюють як раз на основі хаотичного синхронного відгуку.

2.1.2 Узагальнена синхронізація та її варіанти

Режим узагальненої синхронізації означає, що після завершення перехідних процесів між станами ведучої та веденої НДС в режимі генерації хаотичних сигналів між ними встановлюється певний чіткий аналітичних

зв'язок, виявити який іноді досить важко, а іноді зв'язок може бути і фрактальним. Із загальної точки зору всі решта різновидів синхронізації можливо привести до узагальненої синхронізації в залежності від того, в якому аспекті розглядати функціональну залежність між фазовими змінними ведучої та веденої НДС (рис.2.3).

Якщо розглядати функцію в аспекті забезпечення асимптотичної точності синхронізації в реальних ділянках часу, то всі різновиди хаотичної синхронізації можливо поділити на точні та наближені. Для практичного втілення найбільш часто застосовують режим повної синхронізації, що забезпечує тотожність змінних ГДХ на обох боках системи (одинична функція зв'язку). У випадку коли забезпечується протилежність значень фазових змінних та однаковість їх за модулем реалізується інверсна синхронізація (функція дорівнює мінус одиниці) [20,21,24,25].

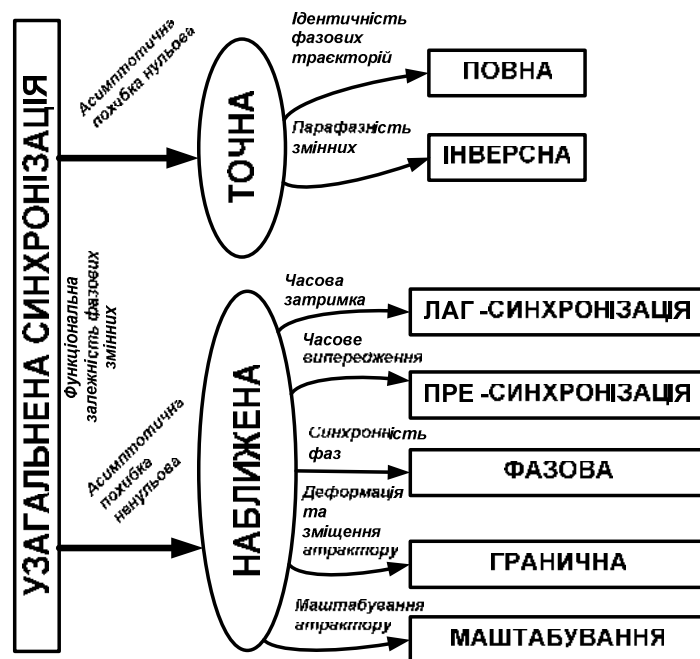


Рисунок 2.3 – Класифікаційні ознаки та варіанти узагальненої хаотичної синхронізації

Коли потенційної ідентичності фазових змінних веденого та ведучого генераторів немає, але за деяким критерієм похибка прямує до ненульового малого значення, то говорять про наявність наближеної хаотичної

синхронізації. Варіантів наближеної хаотичної синхронізації виділяють декілька, але не всі вони підходять для практичного втілення, наприклад, в системах прихованого зв'язку. Часто варіанти наближеної синхронізації є перехідними в умовах коли намагаються отримати повну синхронізацію.

Хаотична лаг-синхронізація передбачає затримку у часі значень фазової змінної веденої системи відносно ведучої, при чому ця затримка «внутрішня», а не та, що викликана затримкою передачі в каналі. Також в деяких випадках спостерігалась пре-синхронізація [26], тобто передбачувальна поведінка веденої системи відносно ведучої. Ведена система ніби випереджає у часі ведучу, створюючи екстраполяцію фазових змінних.

Фазова синхронізація так названа через те, що ідентифікація поточної фази може бути здійснена за нуль-перетинами фазових змінних і якщо вони близькі то неповну синхронізацію йменують фазовою. Під час фазової синхронізації амплітуди хаотичного сигналу слабо корельовано. Фазова синхронізація близький різновид до класичної синхронізації.

Гранична та синхронізація масштабування [27] складають групу способів синхронізації що об'єднуються деформацією дивного атрактору. Під час граничної синхронізації атрактор веденої системи може зміститись у фазовому просторі, а під час синхронізації масштабуванням – змінити власні розміри.

Режим узагальненої синхронізації може спостерігатись в системах із дисипацією та і в системах без дисипації. Якщо дисипація в НДС присутня а параметри ведучої та веденої системи дещо роз лаштовані, то рівняння поведінки системи під час синхронізації описуються як:

$$\begin{aligned} \left\{ \dot{x}(t) \right\} &= H \left[\left\{ x(t) \right\}, \left\{ g_M \right\} \right] \\ \left\{ \dot{y}(t) \right\} &= H \left[\left\{ y(t) \right\}, \left\{ g_S \right\} \right] + \varepsilon A \left[\left\{ x(t) \right\} - \left\{ y(t) \right\} \right] \end{aligned} \quad (2.1)$$

де, $\{x(t)\}$, $\{y(t)\}$ - вектори станів ведучої та веденої системи;

H - оператор еволюції НДС;

$\{g_M\}$, $\{g_S\}$ - вектори значень керуючих параметрів оператора еволюції;

A - матриця, що характеризує зв'язок між фазовими змінними веденої та ведучої системи;

ε - параметр сили зв'язку.

Під час двобічної узагальненої синхронізації фактично ми маємо справу із просторово розподіленою складною динамічною системою із взаємним впливом (2.1), і виявлення двобічної синхронізації завжди проблематично.

2.1.3 Діагностування узагальненої синхронізації

Діагностувати наявність узагальненої синхронізації на практиці можливо декількома способами, але найбільш ефективний виявився спосіб допоміжної системи [3,24,34,38].

Для реалізації способу ідентифікації наявності повної синхронізації між двома ГДХ в методі допоміжного генератора застосовують дві НДС із однаковими операторами еволюції (рис.2.4) та початковими параметрами. В рамках методу один із генераторів називають основним, а інший – допоміжним, обидва вони є веденими ГДХ із декомпозицією, тобто вся система ґрунтується на ефекті хаотичного синхронного відгуку, описаного раніше.

Синхронізуючий хаотичний сигнал від ведучого генератора надходить на основний та допоміжний ГДХ одночасно. Синхросигнал подається в коло розірваного зворотного зв'язку кожного із ГДХ таким чином, щоб забезпечити розв'язку між основним та допоміжним генераторами, тобто щоб по колам подачі синхронізуючого сигналу була відсутня можливість взаємного впливу між основним та допоміжним веденими генераторами

(розв'язка генераторів). Ця функція реалізується в блоці синхронізації кожного з генераторів (рис.2.4)

З точки зору математичної моделі, під час запуску динаміки, обидва генератора мають демонструвати ідентичну хаотичну поведінку та формувати однакові ДАТ. Тобто їх фазові траєкторії (часові послідовності) фазових змінних мають збігатись. На практиці ж ми маємо ситуацію неможливості забезпечення однаковості як операторів еволюції так і параметрів біфуркації, так і початкових умов. Через технічну неможливість дотримання цих умов під час відсутності синхронізуючого сигналу фазові траєкторії генераторів експоненційно розбігаються, що приводить до деко реляції часових залежностей усіх фазових змінних.

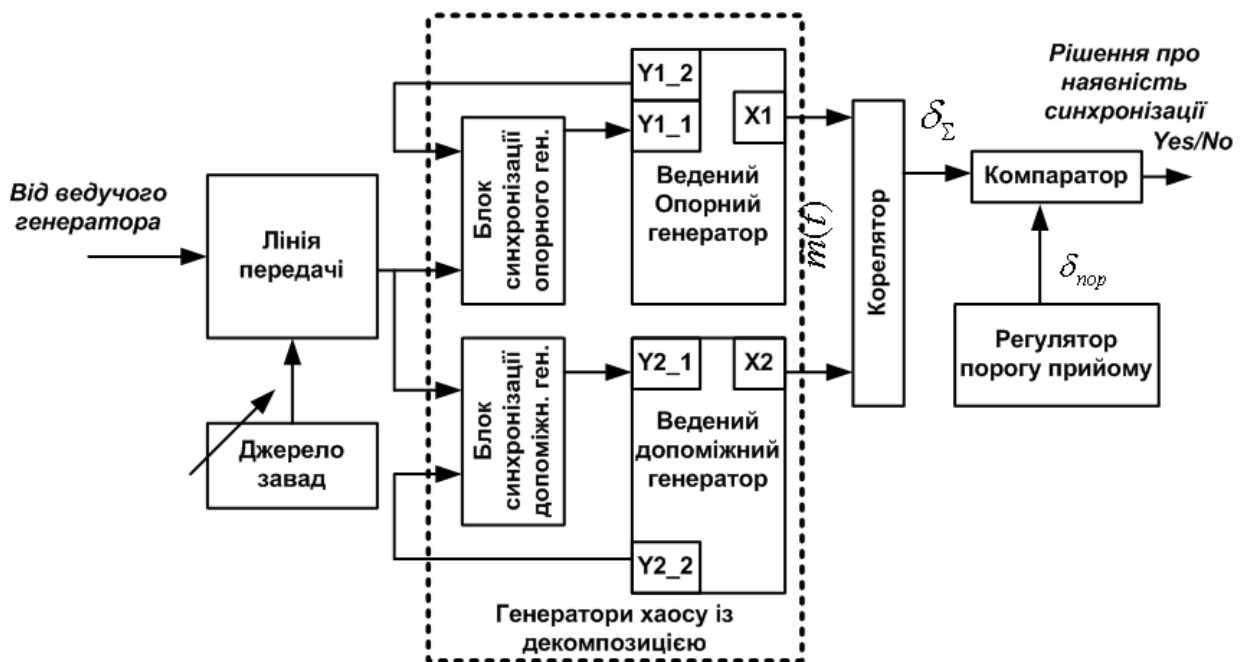


Рисунок 2.4 – Структура ідентифікації хаотичної синхронізації способом допоміжного генератора

Слід зазначити, що різні фазові змінні мають різний характер та рівень взаємної кореляції і вибір фазової змінної для найбільш швидкої та впевненої ідентифікації режиму повної синхронізації потребує подальших досліджень, часто спряжених із значним обсягом обчислень для визначення АКФ та ВКФ фазових змінних. Тому перед побудовою генераторів слід провести аналіз

хаотичного генератора на оптимальність використання фазових змінних для практичної моделі пристрою ідентифікації синхронізованого стану між ГДХ під час узагальненої синхронізації.

Таким чином, визначення рівня збіжності між основним та допоміжним веденими генераторами є мірою синхронізації або десинхронізації. За міру збіжності найбільш доцільно обрати рівень кореляції, що обраховується в кореляторі (рис.2.4) та порівнюється із певним порогом. Якщо сигнал на виході корелятора перетинає поріг кореляції, то приймається рішення, що синхронізація із веденим генератором відсутня. Якщо сигнал на виході корелятора менше порогу, то фіксується наявність синхронізації між ведучим та веденими ГДХ. Слід зазначити, що опорний та допоміжний генератори в цьому випадку працюють паралельно та функції в них однакові та взаємозамінні, тобто кожен із них можливо вважати і опорним і допоміжним.

Логіка роботи системи може бути описана наступним чином, якщо за міру кореляції обрати квадрат різниці між однойменними значеннями фазових змінних:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{\Sigma} = \int_0^{NT_0} (x_1(t) - x_2(t))^2 dt > \delta_{\text{пор}} \rightarrow \text{десинхронізація} \\ \delta_{\Sigma} = \int_0^{NT_0} (x_1(t) - x_2(t))^2 dt < \delta_{\text{пор}} \rightarrow \text{синхронізація} \end{array} \right. \quad (2.2)$$

де $\delta_{\text{пор}}$ - порогове значення, що виставляється на основі характеристик виявлення узагальненої синхронізації;

Слід зазначити, що ідентифікація режиму синхронізації може відбуватись на основі аналізу часового ряду однієї фазової змінної (2.2), а синхронізація відбуватись по іншій фазовій змінній, на рис.2.4 їх зазначено як змінні x та y . Не виключена можливість також роботи по якійсь одній фазовій змінній, або паралельна як синхронізація та аналіз по декільком фазовим змінним. Що є фактично предметом дослідження в даній роботі через імітаційне моделювання. Можливість використання різних фазових

змін зростає із кількістю фазових зміни в ГДХ, тому генератори високої розмірності мають більше можливостей для аналізу і в перспективі забезпечуватимуть більшу швидкодію визначення режиму узагальненої синхронізації (рис.2.5) через функціональну комбінацію рішень по кожній фазовій змінній в процесі детектування наявності синхронізації.

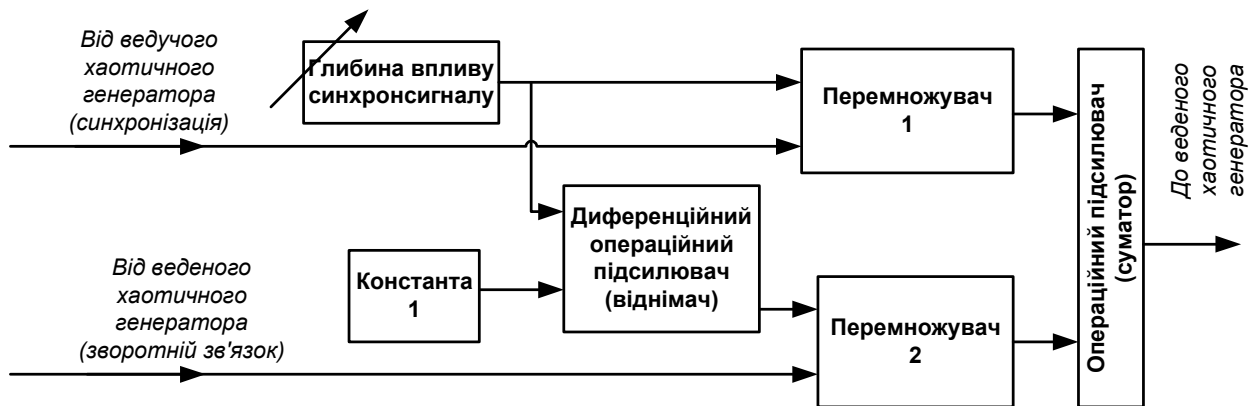


Рисунок 2.5 – Структурна схема блоку синхронізації основного та допоміжного генераторів хаосу в способі детектування режиму повної синхронізації методом допоміжного генератора

Принциповою перевагою способу ідентифікації режиму узагальненої синхронізації на основі методу допоміжного є відсутність жорстких вимог до ідентичності ведучого та ведених ГДХ по обидва боки каналу синхронізації, а також те, що наявність однакових ГДХ генераторів на веденому боці лінії синхронізації дозволяє просто здійснити первинне встановлення їх операторів еволюції, біфуркаційних параметрів та початкових значень фазових змінних [38]. Це суттєво спрощує технічну реалізацію схеми синхронізації системи загалом, особливо у випадку застосування генераторів високої розмірності.

Ще однією суттєвою перевагою методу допоміжного сигналу є те, що сигнал, що надходить до ведених ГДХ завжди однаковий. Якщо в каналі синхронізації присутні завади, то сумарний сигнал буде деякою сумішшю завад та синхросигналу. Під час кореляційної обробки такі сигнали через

оператор еволюції ГДХ будуть однаково впливати на основний та допоміжний генератори, а потім відніматись в кореляторі, що призводить до компенсації шумової складової через ідентичність каналі обробки, крім того, під час синхронізації активно працює механізм хаотичної фільтрації, що ще більше зменшує вплив шумової (завадової) складової суміші. Тобто, за умови дисипативного зв'язку між ведучим та веденими ГДХ, завади суттєво не впливають на поріг детектування появи повної синхронізації.

Вказані переваги та особливості дозволяють створювати на основі режиму повної синхронізації та методу допоміжного сигналу стійких до завад способів передачі даних із одночасним захистом від несанкціонованого доступу, що забезпечується структурою оператора еволюції, вибором значень біфуркаційних параметрів та початкових значень фазових змінних, та неможливістю їх виявлення через аналіз часового ряду в калані зв'язку швидко і однозначно. При чому, чим більше фазових змінних та складніша схема ідентифікації режиму тим вище рівень прихованості дії та захисту від несанкціонованого доступу системи загалом.

2.2 Практичне застосування хаотичного режиму нелінійних систем

2.2.1 Організація зв'язку на основі хаотичних сигналів

Основою ефективної роботи систем зв'язку, що базуються на застосуванні сигналів детермінованого хаосу (СДХ) явище хаотичної синхронізації (ХСХ) або хаотичного синхронного відгуку (ХСВ). Це означає, що при певних обставинах складна і високочутлива нелінійна динаміка пов'язаних хаотичних осциляторів може синхронізуватися, і такий синхронний стан можна використовувати кількома різними способами, щоб забезпечити зв'язок (див. додаток Б).

Із загальних позицій класичного приймача синхронізація необхідна для того, щоб як когерентні так і некогерентні системи обробки мали знати точний час і тривалість кожного прийнятого символу в потоці даних. Це, в свою чергу необхідно для того, щоб мати можливість призначати момент часу прийняття рішення, а також вчасно розряджати інтегратор корелятора.

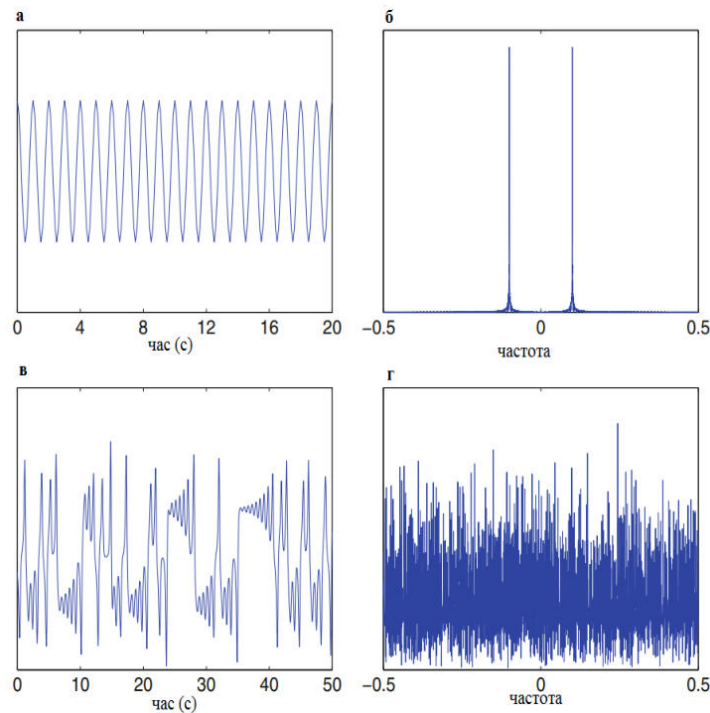


Рисунок 2.6 – Форма та спектр гармонічного та хаотичного сигналів

Коли для передачі інформації допоміжний сигнал (підносівна) синусоїдальної форми, спектральна щільність потужності концентрується у вузькій смузі частот, спектр хаотичних сигналів розташовано ж в широкій смузі частот (рис.2.6), при чому один і той самий ГХС може створювати декілька ортогональних піднесівних, залежно від первинних умов його налаштування [3,40].

Під час хаотичної модуляції, через значну ширину спектру хаотичної підносівної відносно ширини спектру сигналу, що модулює відбувається процедура розширення спектру (скремблювання), тобто можливо відшукати спільні риси в класичних системах із розширенням спектру і системами із хаотичними піднесівними. Такими властивостями є:

- 1) складність перехоплення інформації, або високий рівень прихованості дії;
- 2) високий рівень захисту від несанкціонованого доступу;
- 3) високий структурний рівень завадостійкості;
- 4) можливість застосування сигналів для в умовах нестаціонарних каналів зв'язку;
- 5) нечутливість до спотворень, що виникають через багатопроменеве поширення сигналу, тощо.

Теорією НДС встановлено, що через вплив малих збурень можна керувати хаотичним режимом в межах нестійких орбіт ДАТ, цю ідею можливо застосувати для створення СДХ, що переносить інформацію безпосередньо.

Будь-який ДАТ містить нескінченну кількість нестійких періодичних орбіт [1,2]. Отже із загальної точки зору хаотичний рух складається із досить тривалих рухів по таким нестійким орбітам та швидким переходам між ними. Така хаотична динаміка призводить до складного довготривалого «блукання» у ФПР. Основне завдання керування хаотичною поведінкою - це стабілізація однієї з цих нестійких періодичних орбіт за допомогою малих системних зрушень. В результаті такої стабілізації хаотична динаміка стає більш стабільна і передбачувана, а значить більш схильна до процесів синхронізації.

Амплітуда збурень має бути набагато меншою за апертуру ДАТ, щоб не змінювати структуру дивного атратора загалом. Існуює два основних методи керування хаосом: метод дискретного OGY (Ott, Grebogi і Yorke) та неперервного керування (Pyragas) [11,12,15,27]. Обидва методи складні із аналітичної точки зору та вимагають попереднього аналізу ОЕ та нестійких орбіт у ФПР, перш ніж можна буде розробити ефективний алгоритм керування хаосом. Можливість керування малими збуреннями та принципова можливість синхронізації ГДХ (рис.2.7) породила пропозицію цілого спектру

практичних застосувань, особливо для галузі телекомунікації та радіотехніки загалом.

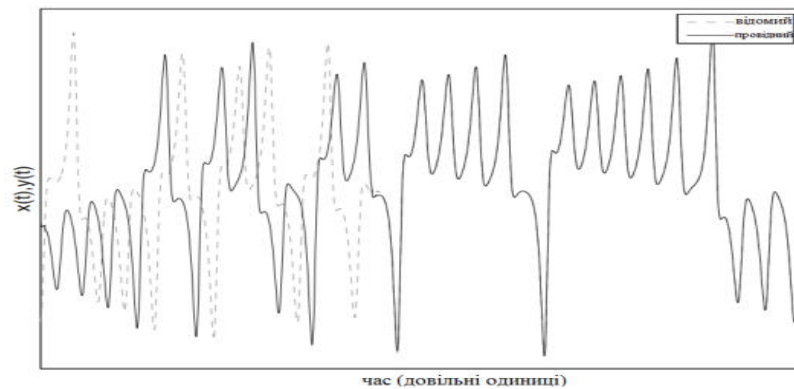


Рисунок 2.7 – Діаграми однойменних сигналів під час синхронізації двох різних хаотичних генераторів

Використовуючи теоретичні надбання методів керування динамікою хаосу було запропоновано та продемонстровано першу повну телекомунікаційну СПІ на основі СДХ (рис.2.8). Базова ідея застосування хаотичного режиму НДС полягала у застосуванні синхронної поведінки веденого та ведучого ГДХ як для передачі так і для прийому інформаційних повідомлень за допомогою однакових ОЕ [15].

В якості піднесівної хаотичної системи зв'язку застосовується хаотичний сигнал однієї із фазових змінних 3D хаотичного генератора, що модульовано за амплітудою (масштабом) інформаційним сигналом із рівнем набагато меншим за рівень сигналу фазової змінної ГДХ (див.рис.Б.1).

За умови певного рівня шумів, глибини синхронізації, хаотичній формі хвилі, така, дивна із класичної теорії схема обробки дозволила виділити інформаційний сигнал із суміші із хаотичним через просту процедуру віднімання, якщо генератори знаходились в режимі синхронізації. Основна особливість полягала в тому, що ведений ГДХ відтворював траєкторію руху без модуляції, що дозволило застосувати сигнали однієї і тієї ж фазової змінної як синхронізуючий та як піднесівних [41]!!!

Така була перша система, що застосовує хаотичні сигнали в СП, звичайно, вона мала купу недоліків, але, тим не менше, довела працездатність застосування СДХ в ТР.

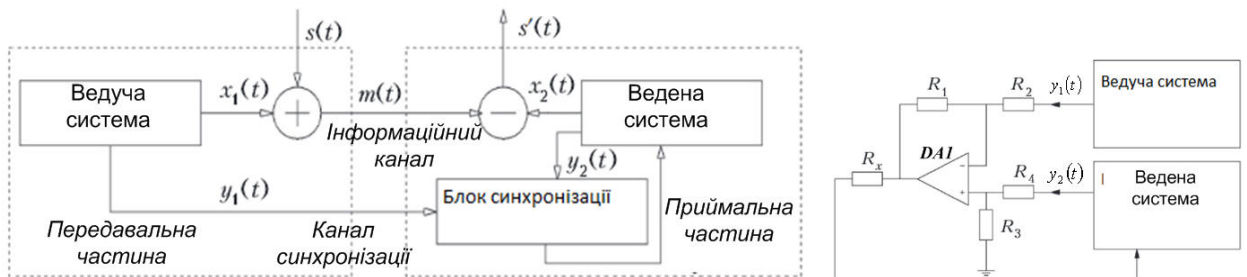


Рисунок 2.8 – Узагальнена схема передачі інформації на основі хаотичного маскування(ліворуч) та функціональна схема синхронізації ведучої та веденої хаотичних систем

Система із хаотичним маскуванням прояснила розуміння досить складного і нетривіального явища: ведений ГДХ синхронізувався тільки із хаотичною складовою переданого сигналу, не зважаючи на те, що у складі сигналу синхронізації є також корисний сигнал і завади. Надалі таку властивість стали називати хаотична фільтрація, тобто властивість синхронних хаотичних систем за певних умов відокремлювати хаотичну частина сигналу, від адитивної суміші із малим рівнем сигналу повідомлення. Інжекція діє як збурення, яке змінює динаміку передавача, так що сам хаотичний сигнал містить інформацію (див.рис.Б.4).

На протязі невеликого часу було запропоновано ряд інших способів хаотичної модуляції як цифрових так і аналогових та організації хаотичної синхронізації ведучого та веденого ГДХ, а також способів створення псевдовипадкових аналогових та цифрових хаотичних послідовностей. генерації псевдовипадкових послідовностей та інших застосувань. Одночасно виникало ряд невідомих явищ, наприклад, синхронізація із випередженням або запізненням, часткова синхронізація, узагальнена синхронізація [21], тощо.

Особливо цікавим став результат дослідження режиму затримки синхронізації ГДХ із двобічним зв'язком: в деяких випадках відбувалась синхронізація із нульовою затримкою двох віддалених ГДХ незважаючи на природну затримку в лінії передачі. Таке суттєво нелінійне явище дістало назву «ізохронна синхронізація».

2.2.2 Хаотична дуплексна система із двобічною синхронізацією

Теоретичні відомості про динаміку хаотичних систем дозволяють низько енергетичні інформаційні сигнали для керування їх поведінкою під час хаотичного маскування. При цьому зберігається висока енергетична ефективність передачі, наприклад, різні зони періодичних орбіт ДАТ можуть відповідати різним рівням цифрового сигналу, що детектуються як перетинання порогу спрацьовування (рис.2.9).

Використання хаотичних систем доцільно для побудови каналів із суттєвими часовими затримками та одночасним дуплексним обміном сигналами між абонентами. В таких умовах СДХ виступає як засіб подолання незручностей, викликаних затримками сигналів в СП, за умови збереження концептуально простої структури обміну даними через наявність "ізохронної хаотичної синхронізації" [9].

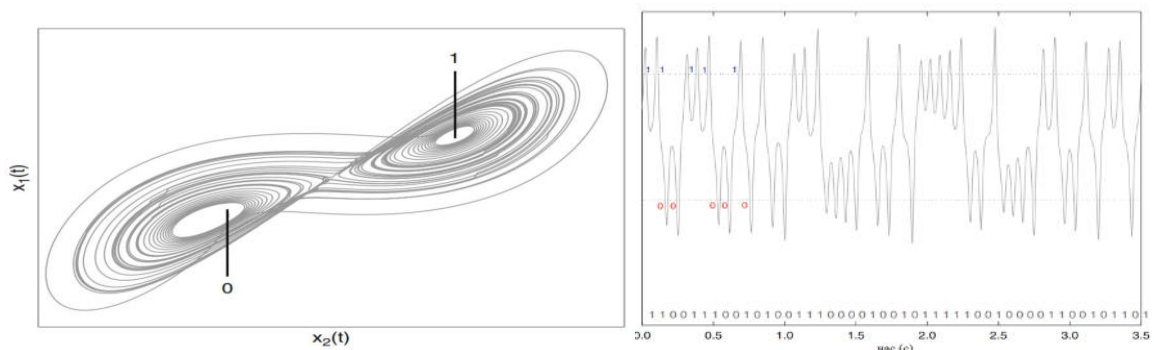


Рисунок 2.9 – До пояснення процесу цифрової хаотичної модуляції або кодування цифровим сигналом

Явище ізохронної синхронізації виявлено як під час чисельного моделювання так і в експериментальних установках, а також підтверджено аналітичними розрахунками на основі теорії стійкості Ляпунова-Красовського [5]. Ідея одночасної двоспрямованої передачі [17] заснована на тому факті, що два віддалених ГДХ можуть синхронізуватися з нульовим запізненням під час присутності в каналі часової затримки, отже інформаційне повідомлення може бути введене і виділене однозначно на обох боках каналу передачі так, ніби затримки в каналі не існує.

Під час передавання бінарного цифрового сигналу стан ізохронно синхронізованої системи ГДХ на обох боках лінії передачі може бути або синфазним (0-0, 1-1), або протифазним (0-1, 1-0). Отже, виникають два різних характеру збурення синхронності системи. Якщо стан взаємної передачі синфазний, то синхронізація підтримується через синхронну дію інформаційного збурення (модуляції). Якщо стан модуляції асинхронний то повідомлення сприймається як адитивний шум розсинхронізації і підлягає хаотичній фільтрації.

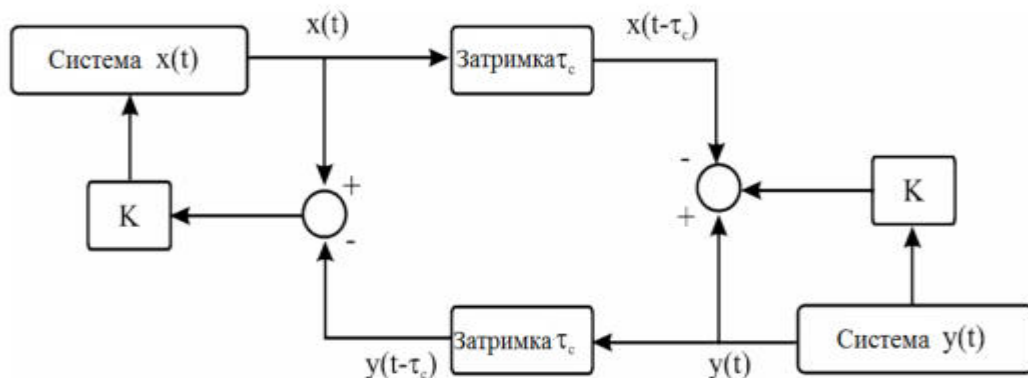


Рисунок 2.10 – Структурна схема узгодження ключів шифрування за допомогою одночасного двобічного зв'язку

Якщо приймач і передавач кодують один і той же символ в один і той же час то стан синхронізації не змінюється. Таким чином така структура зв'язку (рис.2.10) доцільна для узгодження секретних ключів у відкритому каналі, забезпечуючи високий ступінь прихованості дії. Додаткове цифрове

кодування за допомогою ключів дозволяє забезпечити ще більший рівень захисту від несанкціонованого доступу без застосування окремого приватного каналу узгодження ключів шифрування.

Для пояснення суті роботи системи звернемося до діаграм роботи, позначених на рис.2.11. На кожному боці відоме повідомлення що передається, в каналі передачі діє два режими – або синхронізація або роз синхронізація, що відбиває стан виключного або від двох повідомлень що передаються. Кожному абоненту відоме власне повідомлення, тому його можливо виділити із об'єднаного виключним АБО під час хаотичної двоспрямованої синхронізації, а значить виділити повідомлення іншого адресату.

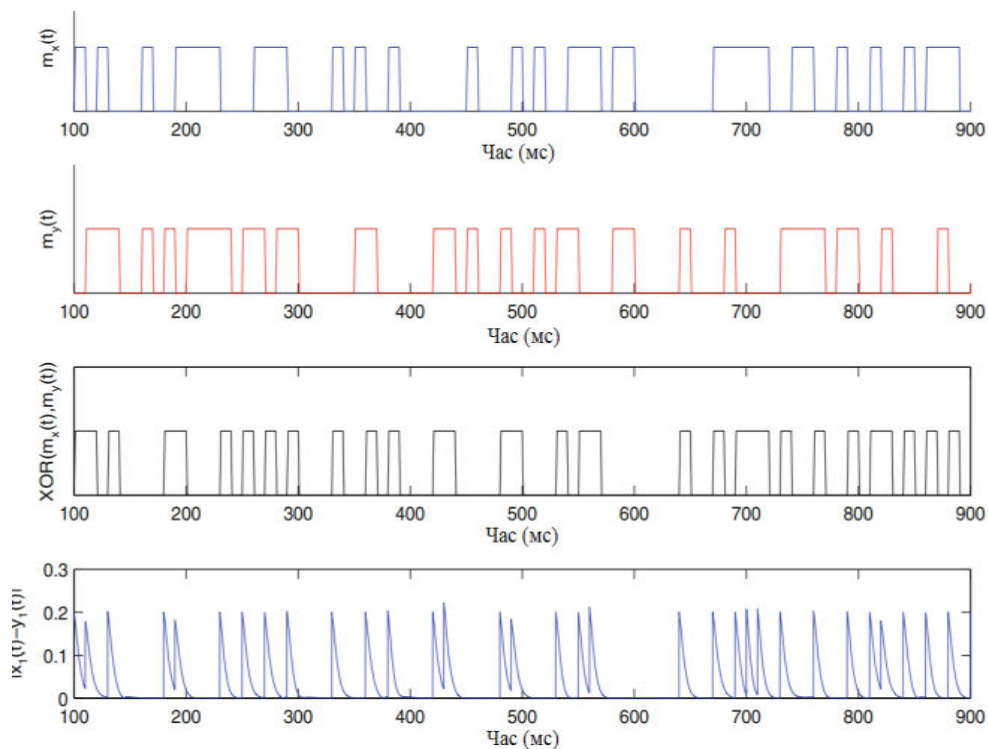


Рисунок 2.11 – Часові діаграми передачі інформації в системі із двоспрямованою синхронізацією хаотичних генераторів

Швидкість передачі або кодування в такій системі залежить від значення часу повторної синхронізації після роз синхронізації. Така структура обміну застосовується в оптичних лазерних системах, тому що вони є яскравим прикладом існування НДС. Час пере синхронізації найбільш

поширених у телекомунікаціях напівпровідникових лазерів складає близько 0,3 нс, що забезпечує взаємну пропускну спроможність до 3 Гбіт/с, що досить непогано порівняно навіть із провідними зразками передачі даних.

Ідентифікація режиму синхронізації – розсинхронізації проводиться за допомогою використання допоміжного хаотичного генератора із структурою ідентичною головному. Це дозволяє працювати навіть за рівня зовнішніх шумів, що перевищує рівень сигналу в каналі, а також в умовах обмеженої смуги пропускання.

2.2.3 Економічна ефективність систем телекомунікацій із хаотичними сигналами

Через особливі властивості СДХ має місце ефект комплексного застосування СДХ для багатьох завдань СПП, що традиційно є окремими завданнями для складових частин каналу передачі: створення кодеків джерела, кодеків сигналів, кодеків сигнально-кодових конструкцій, блоків шифрування, модемів підносівної, тощо. Комплексні блоки виявляються структурно та функціонально простими (див. рис.2.8).

Результати математичного аналізу АКФ та ВКФ хаотичних сигналів в системах симуляції (MathLab, MicroSim) показують, що системи телекомунікацій, що застосовують хаотичні сигнали як піднесівні для організації багатоканального зв'язку можуть обслуговувати вдвічі більше (див. додаток А) в багатокористувацьких багатостанційних СПП із однаковим коефіцієнтом бітових помилок. Тобто хаотичні сигнали можуть виступати як похідні для створення квазіортогональних базисів каналних піднесівних [40].

Однак межа продуктивності СПП на основі хаотичних сигналів лежить поки що нижче за класичні аналоги, що є недоліком хаотичних систем, не кажучи вже про точність та стабільність компонент хаотичного генератора із практичної точки зору, тому на даний момент широке застосування

хаотичних сигналів поки ще не проводиться, а основна увага науковців-телекомунікаційників зосереджена на квантових системах зв'язку. Тобто питання перевернення загальної продуктивності хаотичних систем над класичними все ще залишається відкритим [3,41,].

В сенсі ефективності застосування хаотичних сигналів часто задаються питанням необхідності вкладати сили та час у вивчення можливостей застосування хаотичної динаміки в телекомунікаційній галузі, якщо діючі системи на основі класичної кореляційної обробки на даний час відмінно виконують свої функції по передачі даних. Однозначну відповідь на це питання на даний час не дасть ніхто. Хоча було доведено, що пропускна спроможність хаотичних систем програє пропускній спроможності традиційних СПІ на теперішньому розвитку технологій виготовлення апаратури, але забезпечують перевагу в інших тактичних можливостях передачі даних, наприклад, криптографічному захисті.

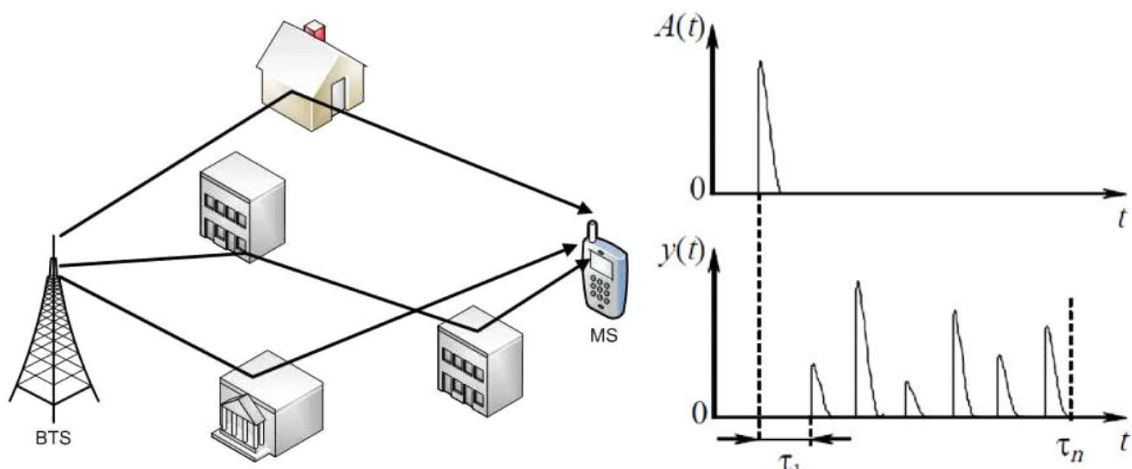


Рисунок 2.12 – Механізм появи багатопроменевого поширення сигналів у нестационарних каналах зв'язку

Із філософської точки зору СПІ, що ґрунтуються на лінійних засадах обробки сигналів мають витратити в окремих системах телекомунікацій (оптичних) значні ресурси на підтримання тої самої лінійності в суттєво нелінійних системах, таких як лазери. Отже виникає парадоксальна ситуація,

і вирішення її лежить в площині застосування хаотичних сигналів та стабільних станів систем у вигляді дивних атракторів, як структур із принципово вищим але стабільним рівнем ентропії [42-44].

Слід також зауважити, що енергія джерела живлення в хаотичних системах подається безпосередньо в хаотичний генератор, що і створює вже готовий широкосмуговий сигнал для подачі в лінію передачі, а в традиційних системах використовується ряд пристроїв для розширення спектру, кожен із яких має певний ККД, і реалізують марні витрати енергій, а також і додаткові затримки під час свого функціонування. Також за рахунок щільних періодичних орбіт під час вузькосмугової фільтрації хаотичний сигнал все ж залишається хаотичним, а вузькосмуговий може втратити частину або повністю модуляцію, що надає перевагу застосуванню хаотичним сигналам.

Особливо слід зазначити про ефективність застосування хаотичних сигналів для роботи з нестационарними лініями передачі (рис.2.12), в першу чергу лініями із багатопроменевим поширенням [34,36,37]. Із теоретичної точки зору вплив механізму багатопроменевого поширення (рис.2.12) можливо зменшити через використання СДХ під час передавання радіосигналів, порівняно із традиційною кореляційною обробкою двома шляхами. Перший шлях ґрунтується на експоненційному розходженні фазових траєкторій СДХ одно і того самого генератора із часом, а другий на застосування суто нелінійної обробки пов'язаної із часовими аспектами під час синхронізації.

3 ВИКОРИСТАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ХАОТИЧНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ

3.1 Нелінійні системи високого порядку із хаотичною поведінкою

3.1.1 Історичні аспекти пошуку операторів еволюції генераторів хаосу високого порядку

Процес розробки та отримання операторів еволюції НДС, що мають хаотичну поведінку часто спряжений із складними пошуками, що часто мають випадковий характер. Знайдені структури ОЕ та біфуркаційні параметри часто називають на честь дослідника. Провідну роль в цьому відіграли китайські вчені, що започаткувати такі дослідження та впровадження хаотичних способів обробки інформації в телекомунікаціях[3]. Хаос, як унікальна форма поведінки НДС натеper широко використовується в телекомунікаціях та радіотехніці [1,2] через його позитивні властивості в аспектах псевдо випадковості, чутливості до початкових значень, фрактальності, тощо.

Перший оператор еволюції запропонував у 1963 році американський метеоролог Лоренц [3], яка привернув широку увагу фахівців і відтоді постійно відкривалися нові ОЕ нелінійних систем, що реалізовували хаотичну динаміку. В 1976 році Реслер запропонував новий, топологічно відмінний ОЕ, але також була простою за структурою. У 1994 році вчений Спрот побудував ряд ОЕ для простих хаотичних систем, а 1999 році Чень та Уета відкрив та дослідив власний ОЕ, що названо системою Чена [45].

У 2002 р. Лю запропонував своєрідну систему під назвою система ОЕ, що поєднує системи Лоренца і Чена. [3]. В наступному році Лю та Чен, працюючи разом побудували системи із характерним чотирикритим ДАТ, що одразу привернув увагу багатьох дослідників (рис.3.1).

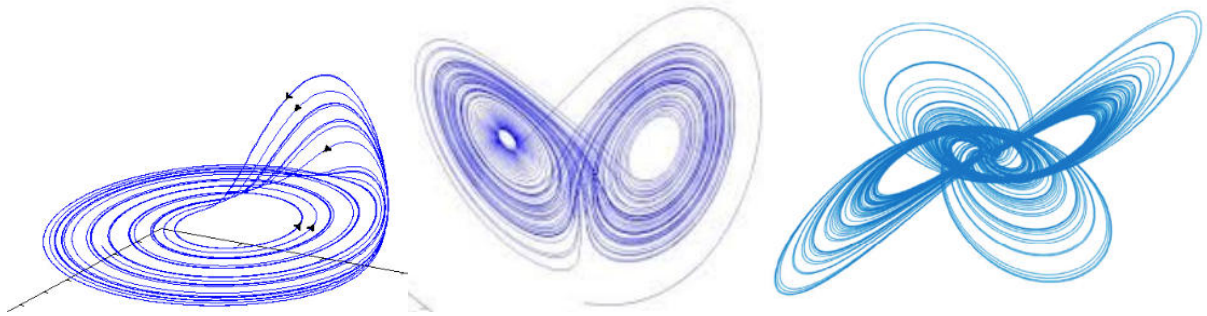


Рисунок 3.1 – Типові топологічні форми дивних атракторів

Одночасно виявилось слушність застосування НДС із складним и ДАТ для шифрування та забезпечення прихованості дії телекомунікаційних каналів. У 2013 році Лі і Спротт запропонували мультистабільну систему із співіснуванням ДАТ і показали, що динаміка точок біфуркації залежить від структури системи [3].

Вперше у 2014 році вчені Лі та Спротт виявили можливість існування ДАТ на простій 4D-системі Лоренца [22], яка мала значну зону керуючих параметрів параметрів у вигляді квазіперіодичного тору. А зовсім недавно, 2017 році вчений Леа, запропонував унікальну 4D автономну НДС з із кусково-лінійною функцією, яка може генерувати різні ДАТ, що співіснують разом. У минулому 2019 році пан Чжоу із колегами НДС з множинною асиметрією [46] та провели симуляцію схеми та дослідження процесів синхронізації системи із чотирма фазовими змінними.

Таким чином, дослідження хаотичної поведінки НДС високої розмірності відкриває нові перспективи щодо побудови різноманітних СПІ в телекомунікаційній галузі та є прогресивним та актуальним завданням сьогодення.

3.1.2 4D системи із хаотичними режимами

На даний час встановлено лише декілька десятків операторів еволюції 4D нелінійних динамічних систем, що мають хаотичну поведінку.

Розглянемо декілька найбільш характерних з точки зору оператора еволюції [48] структур, що підлягають принципу декомпозиції під час синхронізації за хаотичним синхронним відгуком [28, 29,30,46,47].

Проста система із 4-ма розмінностями або фазовими змінними виглядає як:

$$\begin{cases} dx/dt = ax - y - z \\ dy/dt = x \\ dz/dt = -c(x - w) \\ dw/dt = e[z - b(w - 1)H(w - 1)] \end{cases}, \quad (3.1)$$

де, біфуркаційні параметри та кусково-лінійна функція обмеження відповідно становлять $a = 0,7$; $b = 10$; $c = e = 3$; $H(v < 0) = 0$, $H(v \geq 0) = 1$. H – функція ідеального компаратора.

Розгляд диференціальних рівнянь (3.1) для першої системи високої розмірності показує, що дана система відноситься до простих систем (рис.3.2) завдяки зв'язку похідної другої змінної із дійсним значенням першої змінної безпосередньо, такі генератори будемо називати простими. Також через наявність лінійних залежностей, що масштабуються керуючим параметром віднесемо їх до умовного класу лінійно –різницевих (ступінь поліноміальної лінійності дорівнює 1). Кожне рівняння системи складається із диференціального рівняння 1 порядку, а кількість біфуркаційних параметрів дорівнює кількості змінних. За цими критеріями також можливо класифікувати і інші системи 4 порядку.

Система НДС Лі 4-го порядку є теж яскравим представником систем диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\begin{cases} dx/dt = y - x \\ dy/dt = -xz + w \\ dz/dt = xy - a \\ dw/dt = -by \end{cases}, \quad (3.2)$$

де, біфуркаційні параметри відповідно становлять $a = 2,6$; $b = 0,44$.



Рисунок 3.2 – Класифікація операторів еволюції відомих хаотичних генераторів із 4-ма фазовими змінними

Система НДС Лі (3.2) за запропонованою вище класифікацією відноситься до систем із поліноміальною нелінійністю, складних із точки зору побудови правої частини рівнянь, рівень нелінійності квадратичний, кількість складових із квадратичною нелінійністю – 2. Невелика кількість керуючих параметрів дозволяє будувати більш прості системи, та спростити математичний аналіз.

Система Леа за структурою правої частини диференціальних рівнянь відноситься до комбінації двох попередніх систем:

$$\begin{cases} dx/dt = a(y - x) \\ dy/dt = xz + zw \\ dz/dt = b - xy \\ dw/dt = c \cdot \text{sgn}(z) - kw \end{cases}, \quad (3.3)$$

де, біфуркаційні параметри та кусково-лінійна функція відповідно становлять $a = 1; b = 1; c = 9; k = 2; \text{sgn}(v < 0) = -1, \text{sgn}(v > 0) = +1, \text{sgn}(v = 0) = 0$.

Функція sgn – функція ідентифікації знаку аргументу.

Система Леа також складеться із 4 дифрівнянь (3.3) першого порядку, із комбінованою нелінійністю де присутня нелінійність у вигляді кусково-лінійної та поліноміальної функції, тип нелінійності – квадратична, кількість квадратичних членів- 4. Кількість кусково-лінійних членів – 1. Кількість параметрів відповідає кількості фазових змінних.

Система НДС 4-го порядку Зоу (3.4) є теж яскравим представником систем диференційних рівнянь першого порядку із поліноміальною нелінійністю:

$$\begin{cases} dx/dt = a(w - x) \\ dy/dt = -by + zw \\ dz/dt = cx - xw \\ dw/dt = d \cdot y - z + xz \end{cases}, \quad (3.4)$$

де, параметри хаотичного режиму відповідно становлять $a = 2; b = 3,9; c = 3; d = 1$.

Ступінь поліноміальної нелінійності складає 2, кількість членів поліноміальної нелінійності – 4, кількість параметрів біфуркації, придатних для керування – 4. Така система є кандидатом для побудови на її основі синхронізації генераторів високої розмірності.

Система нелінійних рівнянь Хуанга (3.5) має три керуючих параметра та три члена із квадратичною нелінійністю і також є перспективним кандидатом для розробки системи синхронізації за умов можливості адекватної візуалізації під час моделювання її роботи:

$$\begin{cases} dx/dt = a(y - x) \\ dy/dt = xz + w \\ dz/dt = b - xy \\ dw/dt = yz - cw \end{cases}, \quad (3.5)$$

де, параметри хаотичного режиму відповідно становлять $a = 6; b = 11; c = 5$. Система Хуанга також відноситься до систем із поліноміальною нелінійністю правої частини та диференціалами першого

порядку в лівій частині. Система за певних керуючих параметрів має чотирикрилий атрактор.

Із найбільш складним типом нелінійності має система Лоренца 4 порядку (3.6), оператор еволюції якої можливо записати як:

$$\begin{cases} dx/dt = a(y - x) + yzw \\ dy/dt = b(y + x) - xzw \\ dz/dt = -cz + ey + xyw \\ dw/dt = -dw + xyz \end{cases} \quad (3.6)$$

де: x, y, z, w – фазові змінні для цієї та наведених вище систем диференціальних рівнянь 4 порядку;

$a=50$; $b=10$; $c=13$; $d=20$; $e=6$ – значення параметрів біфуркації системи Лоренца.

З точки зору запропонованої класифікації система Лоренца (3.6) має певну симетрію: 4 фазових змінних, 4 членів кубічної нелінійності, 4 параметра та чотирикрилий атрактор, що робить її найбільш привабливою для дослідження способів синхронізації НДС високої розмірності.

Математичне моделювання останньої із запропонованих до розгляду НДС високої розмірності свідчать, що під час значень керуючого параметру $b[17...19]$ (3.6) динамічний рух в системі характеризується двома додатними показниками Ляпунова із чотирьох, в такому випадку вона може створювати сигнал так званого гіперхаосу [28] (рис.3.3) із найбільш високими кореляційними характеристиками, що необхідно для ефективною синхронізації за методом допоміжного генератора. Під час набування значень $b[3...27]$ вказана НДС має лише один додатний показник Ляпунова та створює прості хаотичні коливання із ДАТ більш простої конфігурації (3.3). Зміна решти параметрів чотиривимірного ГДХ імені Лоренца не призводить до яскраво виражених гіперхаотичних коливань.

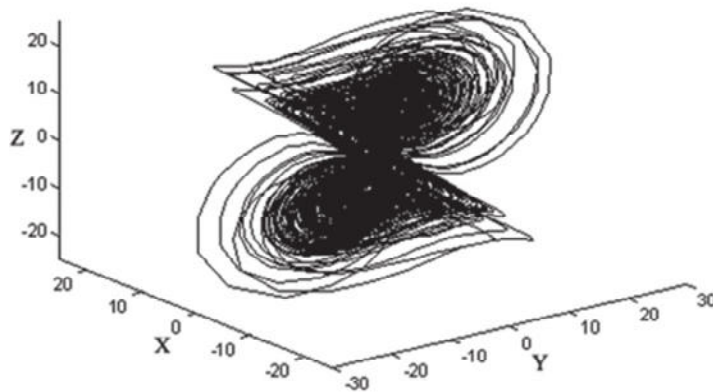


Рисунок 3.3 – Проекція чотиривимірного атрактора генератора Лоренца на тривимірний фазовий простір в режимі генерації гіперхаотичних коливань

Аналіз роботи генераторів високої розмірності показує, що АКФ та ВКФ сигналів фазових змінних (додаток А) мають високі значення параметрів, як правило, лише для 3-х фазових змінних із 4-х, що дає можливість застосовувати ці параметри, як незалежні для опису реального простору, більш адекватно ніж генератори нижчих розмірностей.

3.2 Апертура атрактора та динаміка розбігання фазових траєкторій генераторів високої розмірності

3.2.1 Апертура дивного атрактора

До N -мірного тіла можливо застосування геометричного поняття апертури, як максимального лінійного розміру. Наприклад для куба таким розміром є величина головної діагоналі. Для дивного атрактору, що має складну форму теж можливо ввести таке геометричне поняття апертури. Обчислення апертури можливо реалізувати точно, але це спряжено із значним обсягом обчислень для тіл складної форми. Тому для пришвидшення прийняття рішення про значення апертури, введемо поняття

апертури як різниці між мінімальним та максимальним значенням фазових змінних по всіх фазових траєкторіях. Через таке визначення апертура може бути обрахована аналітично на основі рівняння:

$$A_A = \max [x_{\max}(t), y_{\max}(t), z_{\max}(t), w_{\max}(t)] - \min [x_{\min}(t), y_{\min}(t), z_{\min}(t), w_{\min}(t)] \quad (3.7)$$

Апертура ДАТ як і сама форма атратора залежить від параметрів біфуркації та може змінюватись під час динамічної зміни цих параметрів. З точки зору телекомунікацій та радіотехніки вона має фізичний зміст (рис.3.4) динамічного діапазону лінійних підсилювачів (операційних підсилювачів) що входять до складу НДС яка виконує завдання передачі сигналів, наприклад, із захистом від несанкціонованого доступу.

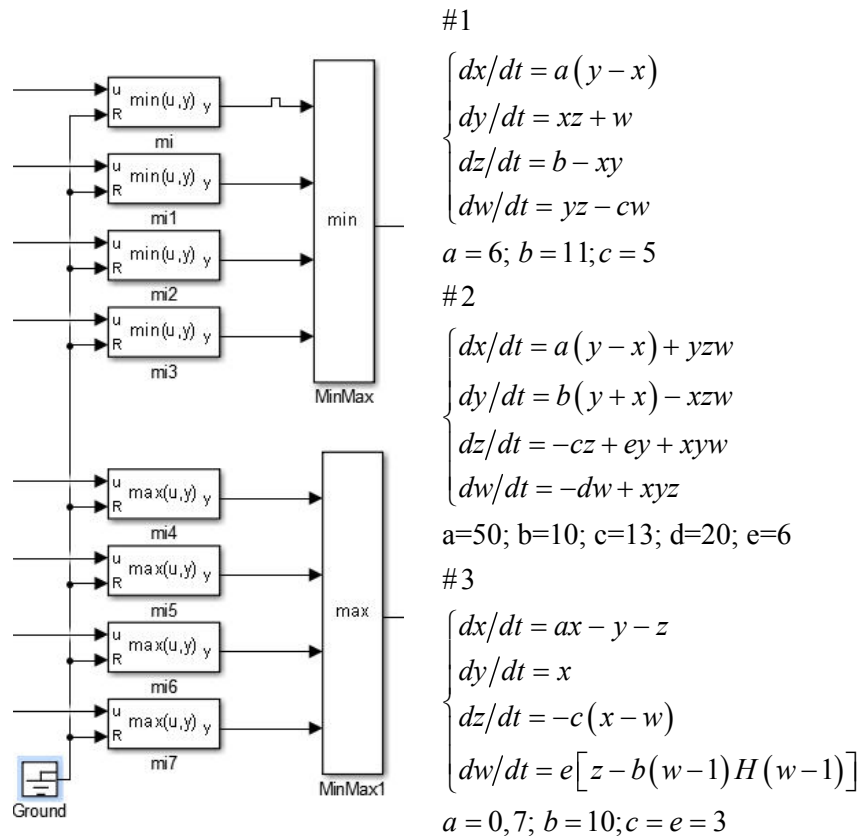


Рисунок 3.4 – Фрагмент схеми (ліворуч) та перелік диференційних рівнянь та їх центральних біфуркаційних параметрів в режимі генерації сигналів детермінованого хаосу, що обрано для досліджень хаотичної синхронізації (праворуч)

Поняття аперттури ДАТ (3.7) вжито нами для можливості порівняння різних НДС з точки зору якості синхронізації за запропонованою методикою. Через поняття аперттури атрактора можливо усі форми атракторів, що знаходяться в обмежених об'ємах привести до приблизно одного габаритного боксу. В такому випадку контроль збігу або розбіжності фазових траєкторій ГДХ різних ОЕ відбувається співставно, а процедура обчислення за (3.7) не вимагає потужних апаратних витрат, та може реалізовуватись на поточній обробці даних числового ряду, що характеризують фазову траєкторію під час математичного або імітаційного моделювання.

У випадку застосування поняття аперттури для мінімум двох ДАТ, має сенс ввести поняття середньої аперттури. Середнє значення найбільш доцільно обраховувати як середнє геометричне, що відповідає нелінійності типу «просте множення», або як середнє квадратичне. Введення середнього значення аперттури атрактора як середньоарифметичного не відповідає самій природі НДС.

Середньоггеометричну аперттуру ДАТ для двох НДС, що синхронізуються обраховуватимемо із (3.7) як:

$$A_{CG_A} = \sqrt{\prod_{i=1}^2 \{A_{i_A}\}}. \quad (3.8)$$

Середньоквадратична аперттура відповідно знаходиться як:

$$A_{CKB_A} = \sqrt{\sum_{i=1}^2 \{A_{i_A}\}^2} \quad (3.9).$$

Перед визначенням аперттури атрактора слід пам'ятати, що хаотичний режим НДС має певний діапазон параметрів, але об'єм атрактора за таких значень біфуркаційних параметрів може змінитись не більше як в декілька разів тому з практичної точки зору вирази (3.8) та (3.9) коректні.

Для знаходження форми ДАТ кількість членів часового ряду має бути оптимальною. Якщо кількість є невеликою, то значення апертури атрактора може бути суттєво завищеною, або суттєво заниженою, залежно від початкових параметрів ініціалізації динамічного руху, тому перші члени числових рядів на протязі декількох фазових циклів, що відбивають поведінку фазових траєкторій, слід відкинути із обрахунку апертури ДАТ.

Із збільшенням кількості членів часових рядів фазових змінних значення апертури стабілізується, на практиці достатньо декількох десятків фазових циклів для отримання правильних даних апертури дивного атрактора.

3.2.2 Динаміка розбігання фазових траєкторій генераторів високої розмірності

Аналіз багатомірних систем фазових траєкторій НДС потребує значної кількості обрахунків та налаштувань імітаційних моделей (див. додаток В). З цієї точки зору доцільно зробити попередній аналіз ОЕ та вибрати тип нелінійності із урахуванням можливості подальшого практичного використання в системах телекомунікацій та радіотехніці. Для цього на основі запропонованої класифікації операторів еволюції оберемо три яскраві представники НДС, що описуються диференційними рівняннями із квадратичною, кубічною та кусково-лінійною нелінійностями (умовно №1, №2, №3 відповідно, на рис. 3.4).

В подавляючій кількості випадків є потреба організувати ХС між ГДХ із однаковими ОЕ, що розташовано по обидва боки лінії передачі. Хаотична синхронізація ГДХ, що мають різні ОЕ як правило не відбувається, або може бути тільки неповною та з перемежуванням режимів синхронізації та різкої десинхронізації []. Режиму повної ХС відповідає ідентичність ФТР веденого

та ведучого ГДХ, а значить і ідентичність атракторів та всіх інших показників НДС.

В умовах розбігання фазових траєкторій мірою подібності хаотичної динаміки може бути лінійний коефіцієнт взаємної кореляції (коефіцієнт Пірсона):

$$K_{Пир} = \frac{\sum_{i=1}^N \{ [x_i - M(x)] \times [y_i - M(y)] \}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \{ [x_i - M(x)]^2 \} \sum_{i=1}^N \{ [y_i - M(y)]^2 \}}}, \quad (3.10)$$

де, $M()$ – математичне сподівання послідовностей x_i та y_i довжиною N .

Але в більшості практичних випадків де реалізується наповна синхронізація коефіцієнт Пірсона (3.10) не забезпечує адекватне оцінювання якості ХС в телекомунікаційних системах, що використовують хаотичні методи введення інформації в хаотичну піднесівну, наприклад, для взаємодіючих НДС з модуляцією через перемикання хаотичних режимів на на основі зміни параметрів біфуркації із глибиною до 10%[].

Якщо попередньо введено геометричний параметр – апертура атрактора, до доцільно і надалі розглядати геометричні критерії ідентичності для веденого та ведучого ГДХ, наприклад, що дорівнюють величині опосередненої відстані між векторами стану фазових змінних НДС. Для системи 4 порядку, що розглядаються таку відстань оцінюють як середньоквадратичну величину:

$$\Delta M = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[(x_{1j} - x_{2j})^2 + (y_{1j} - y_{2j})^2 + (z_{1j} - z_{2j})^2 + (w_{1j} - w_{2j})^2 \right]}, \quad (3.11)$$

де x_{ij} , y_{ij} , z_{ij} – значення фазових змінних для веденого та ведучого ГДХ в j -й момент часу.

Із практичної точки зору величина ΔM (3.11) відповідає похибці синхронізації, що дорівнює нулю тільки у випадку повної ХС. Обрахування похибки для ХС із затримкою краще проводити на основі спектральних характеристик, що інваріантні до часу, але це коло питань в даній роботі не розглядається. Похибка повної синхронізації, обрахована за (3.11) носить абсолютний характер та не може бути застосована для порівняння різних НДС з точки зору властивостей захоплення та утримання повної синхронізації через різні форми та об'єми атракторів.

Для приведення режимів синхронізації запропоновано похибку синхронізації обраховувати як нормовану величину до середьогометричної апертури атракторів взаємодіючих 4D НДС:

$$\Delta M_{A1} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[(x_{1j} - x_{2j})^2 + (y_{1j} - y_{2j})^2 + (z_{1j} - z_{2j})^2 + (w_{1j} - w_{2j})^2 \right]}{\prod_{i=1}^2 \{A_{CG_A}\}}} \quad (3.12)$$

Для реалізації такої критеріальної моделі похибки ХС, розроблена імітаційна модель (Simulink) її поточного розрахунку (рис.3.5) та субмодулі моделі (див. додаток В). В моделі присутні субблоки двох ідентичних (можна і неідентичних) ГДХ, розбігання фазових траєкторій, що аналізується (ліворуч); схема попереднього запуску (середина); блок візуалізації (зверху), блок обрахування нормованого середньоквадратичного відхилення (зверху-праворуч) та блок обрахування середньої апертури атракторів (праворуч-знизу).

Результат обрахунку виводиться безпосередньо на дисплей (показано праворуч), а такого на графобудівник, що дозволяє розглянути проєкції 4D ДАТ систем на певну площину.

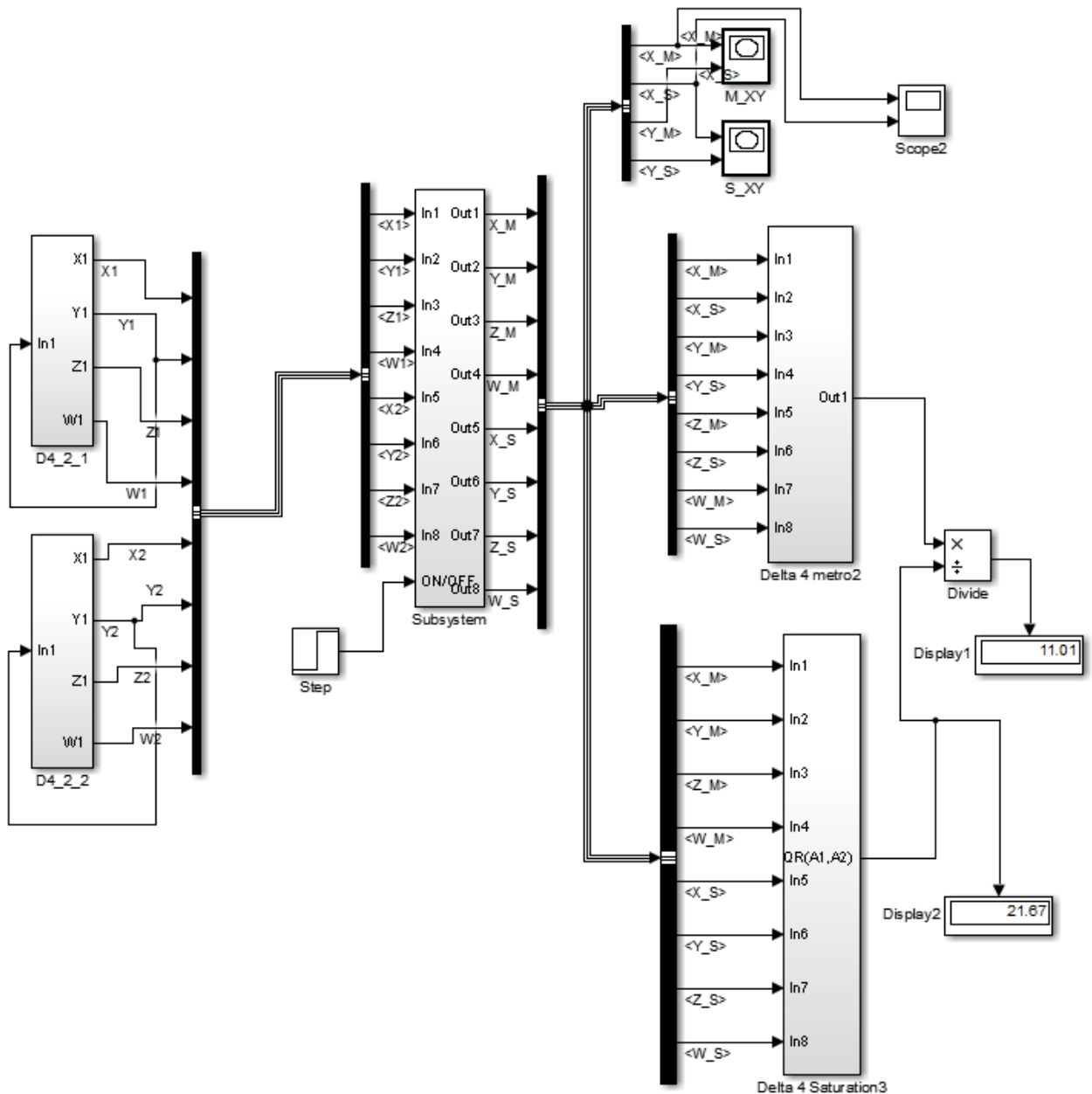


Рисунок 3.5 – Схема до слідження розбігання фазових траєкторій

Запуск імітаційних моделей (рис.3.5) потребує значного часу для обрахунків, що становить декілька десятків хвилин на персональних комп'ютерах середньої потужності. Зміст критерію ХС (3.12) точно встановити важко, але він має безпосереднє відношення до сукупного показника динаміки НДС, або фрактальної розмірності, визначення яких було подано вище. на думку авторів його значення складним чином пов'язано із показниками Ляпунова.

Змінними параметрами під час досліджень є відсоток відхилення параметрів біфуркації через модуляцію керуючого параметра НДС в хаотичному режимі, а також відносний час спостереження еволюції двох 4D генераторів хаосу через фазові траєкторії їх фазових змінних. Відносний час приблизно відповідає кількості фазових циклів однієї фазової змінної. Результати досліджень для трьох 4D систем представлено у табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Результати досліджень розбігання фазових траєкторій для 4D нелінійних динамічних систем в режимі хаотичної поведінки за введеним критерієм

Відносний час	НДС №1 – квадратична нелінійність, % відхилення біфуркаційного параметру		
	10%	1%	0,1%
10	0,294	0,222	0,09
20	0,345	0,358	0,25
50	0,320	0,310	0,27
100	0,315	0,310	0,29
Відносний час	НДС №2 – кубічна нелінійність, % відхилення біфуркаційного параметру		
	10%	1%	0,1%
10	0,427	0,366	0,128
20	0,460	0,611	0,341
50	0,510	0,520	0,476
100	0,512	0,525	0,482
Відносний час	НДС №3 – кусково-лінійна нелінійність, % відхилення біфуркаційного параметру		
	10%	1%	0,1%
10	0,500	0,378	0,228
20	0,245	0,500	0,341
50	0,237	0,239	0,248
100	0,235	0,233	0,222

Аналіз отриманих даних за таблицею 3.1. дозволив зробити наступні висновки:

1. Рівень розсинхронізації із зростанням часу аналізу асимптотично наближається до сталого значення: для НДС №1 – близько 0,3; для НДС №2 – близько 0,51; для НДС №3 близько 0,25.

2. На значних ділянках відносного часу (більше 50 фазових циклів) значення похибки синхронізації практично інваріантно до рівня модуляції біфуркаційного параметра.

3. Найбільш швидко «розбігаються» фазові траєкторії генератора із кубічною нелінійністю, що підтверджує попередні якісні висновки про вплив характеру ОЕ на параметри синхронізації взаємодіючих НДС.

Значення в табл.3.1 складені для умов приблизно однакового відносного часу аналізу, що можливо проілюструвати за допомогою фазових портретів окремих фазових змінних (x та y) під час накопичення певної кількості фазових циклів (рис.3.6-3.8).

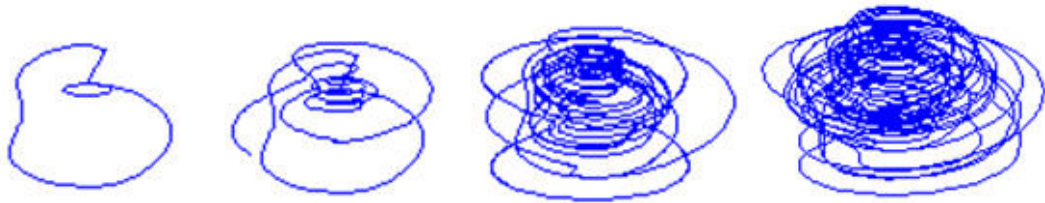


Рисунок 3.6 – Динаміка еволюції проекції фазових траєкторій 4D генератора хаосу із кусково-лінійною нелінійністю залежно від кількості фазових циклів (1-100) справа наліво



Рисунок 3.7 – Динаміка еволюції проекції фазових траєкторій 4D генератора хаосу із квадратичною нелінійністю залежно від кількості фазових циклів (1-100) справа наліво

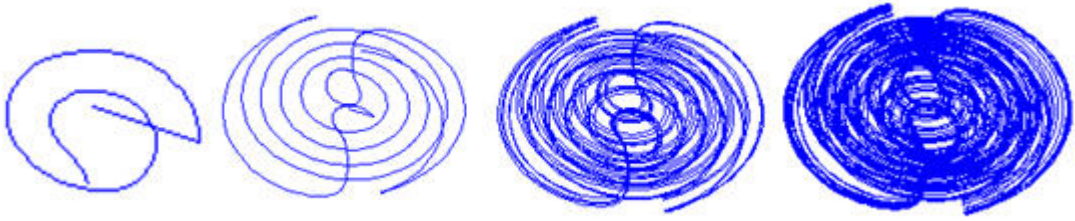


Рисунок 3.8 – Динаміка еволюції проєкції фазових траєкторій 4D генератора хаосу із кубічною нелінійністю залежно від кількості фазових циклів (1-100)
справа наліво

Під час дослідження розбігання фазових траєкторій ГДХ (рис.3.6-3.8) встановлено оптимальний час аналізу – близько 50 фазових циклів в умовах обчислення метричного відносного показника розузгодження, а також проведено обґрунтований вибір типу ОЕ ГДХ для подальшого використання в СПІ із хаотичними підносівними. Але остаточне рішення для вибору генератора залишається під час дослідження імітаційної моделі системи синхронізації в умовах побудови СПІ із цифровою передачею сигналів і модуляцією біфуркаційного параметру.

3.2.3 Вплив шуму на розбігання фазових траєкторій

Як вже вказувалось додавання шуму в аргументи фазової змінної може спричинити як конструктивний так деструктивний ефект, залежно від застосованого критерію ідентичності поведінки НДС в хаотичному режимі.

Для застосування під час досліджень фазової ХС доцільно використовувати критерій, який не враховував би зміну амплітуди. Під час такого процесу часова послідовність проходить через підсилювач-обмежувач, що фіксує тільки переходи сигналу через нуль. В результат отримаємо дві імпульсні послідовності із хаотичною фазою, які надалі порівнюються як в запропонованому критерії через нормування до апертури

атрактора. Для 4D хаотичних генераторів міра розбігання під час зміни біфуркаційного параметру записується у вигляді:

$$\Delta M_{4D} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[\left(\text{sign}(x_{1j} - x_{2j}) \right)^2 + \left(\text{sign}(y_{1j} - y_{2j}) \right)^2 + \left(\text{sign}(z_{1j} - z_{2j}) \right)^2 + \left(\text{sign}(w_{1j} - w_{2j}) \right)^2 \right]}{\prod_{i=1}^2 \left\{ [x_i(t), y_i(t), z_i(t), w_i(t)] - \min [x_i(t), y_i(t), z_i(t), w_i(t)] \right\}}} \quad (3.13)$$

де sign - функція виділення знаку аргументу [1,0,-1].

Для аналізу впливу процесу додавання адитивного гаусівського шуму в коло зворотного зв'язку деякої фазової змінної 4D генератора хаосу в середовищі Simulink складена схема (рис.3.9), в яку додано генератор адитивного гаусівського шуму в коло зворотного зв'язку кожного із генераторів, що досліджуються.

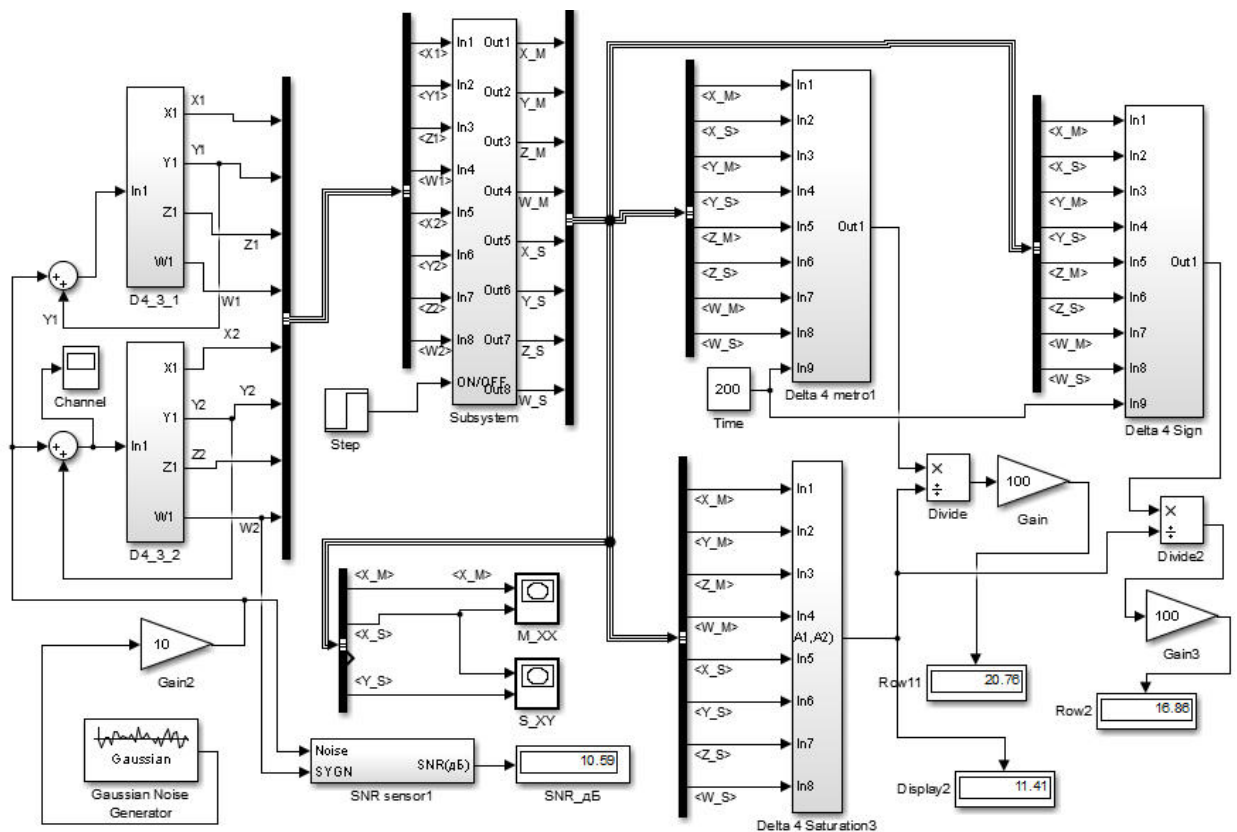


Рисунок 3.9 – Схема дослідження впливу шуму на розбігання фазових траєкторій 4D генераторів хаосу

Під час моделювання вважається, що такі 4D генератори хаосу будуть у складі приймача за способом допоміжної хаотичної системи в рамках ідентифікації наявності або відсутності хаотичної синхронізації між ведучим генератором в передавачі та веденими генераторами в приймачі. Крім того в схему (див. рис.3.9) додано блок (на рис. 3.9 праворуч) для обрахунку похибки розузгодження за рівнянням (3.13), а також елементи для індикації рівня розузгодження між двома НДС, що працюють в хаотичному режимі за цим новим критерієм.

Дослідження впливу шуму проводились для всіх трьох обраних ГДХ четвертого порядку та показали приблизно однакові результати, частина із яких представлена на рис.3.10 для генератора із кусково-лінійною нелінійністю. Результати аналізу впливу шуму для інших генераторів якісно не відрізняються від залежностей, показаних на рис. 3.10.

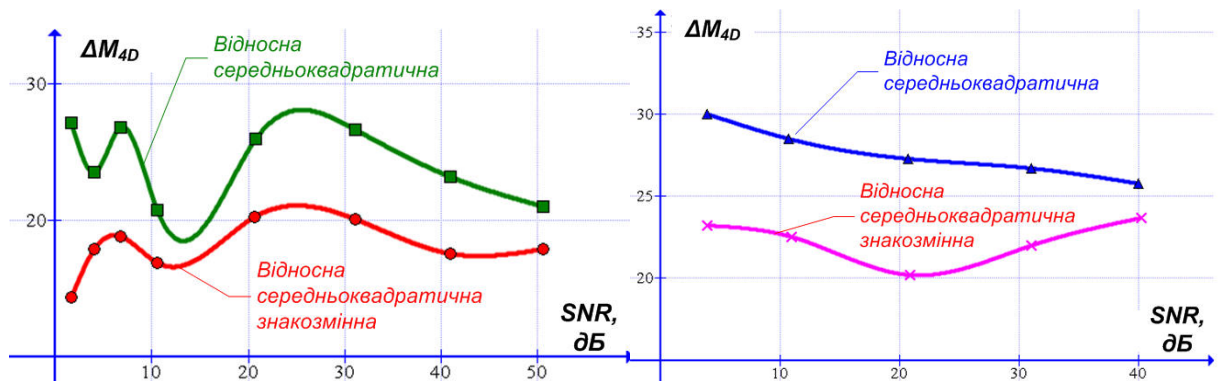


Рисунок 3.10 – Відносна похибка розузгодження 4D генераторів із кусково-лінійною нелінійністю для 1% відмінності біфуркаційного параметру (ліворуч) та 10% (праворуч)

Аналіз поведінки залежності відносної похибки розузгодження дозволив зробити три суттєві висновки щодо подальших досліджень в напрямку хаотичної синхронізації генераторів високої розмірності:

По перше, значення похибки розузгодження за запропонованим критерієм, що включає обрахування апертури атрактора слабо залежить від рівня адитивного гаусівського шуму, що завжди присутній у каналі передачі.

По друге, обрахування значення відносної похибки розузгодження показувало приблизно однаковий результат навіть для відношення сигнал-шум, що складає -50дБ, що говорить про можливість застосування такого критерію практично для усіх натепер знайдених різновидів хаотичної модуляції, а також для методів її детектування.

По третє, критерій на основі обрахування знаку функції працює не менш ефективно, за методику обрахування на основі обрахування середньоквадратичного відхилення. Отже використання конкретного критерію потребує подальших досліджень.

4 ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ІЗ ХАОТИЧНОЮ СИНХРОНІЗАЦІЄЮ ТА ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Універсальна модель дослідження хаотичної синхронізації

Дослідження генераторів хаосу високої розмірності, як і попередніх властивостей хаотичної обробки реалізовано в середовищі Simulink\MathLab. Для дослідження хаотичної взаємодії генераторів із різними операторам еволюції розроблена імітаційна модель верхнього рівня (рис.4.1), що дозволяє через зміну структури субблоків легко переналаштовуватись із урахуванням наступних варіацій:

- вибір оператора еволюції генератора хаосу;
- вибір значень параметрів біфуркації нелінійної динаміки;
- вибір типу декомпозиції структури хаотичного генератора для досягнення узагальненої синхронізації;
- вибір значення рівня глибини взаємодії веденого та ведучих генераторів;
- вибір типу та параметрів, а також способу взаємодії завод із канальними сигналами.
- вибори методу ідентифікації наявності хаотичної синхронізації та встановлення критеріїв синхронізації.

Універсальна модель складається із хаос-передавача (рис.4.1) до якої входить схема опорного генератора сигналу детермінованого хаосу із контрольним індикатором для перевірки працездатності. Зміна режиму роботи під час модуляції цифровими сигналами лог.1 та лог.0 відбувається на основі встановлення параметрів біфуркації, що розташовані у внутрішній будові субблока. Винесення параметрів як окремих генераторів констант за межі субблока недоцільно через великий їх діапазон кількості для різних хаотичних генераторів.

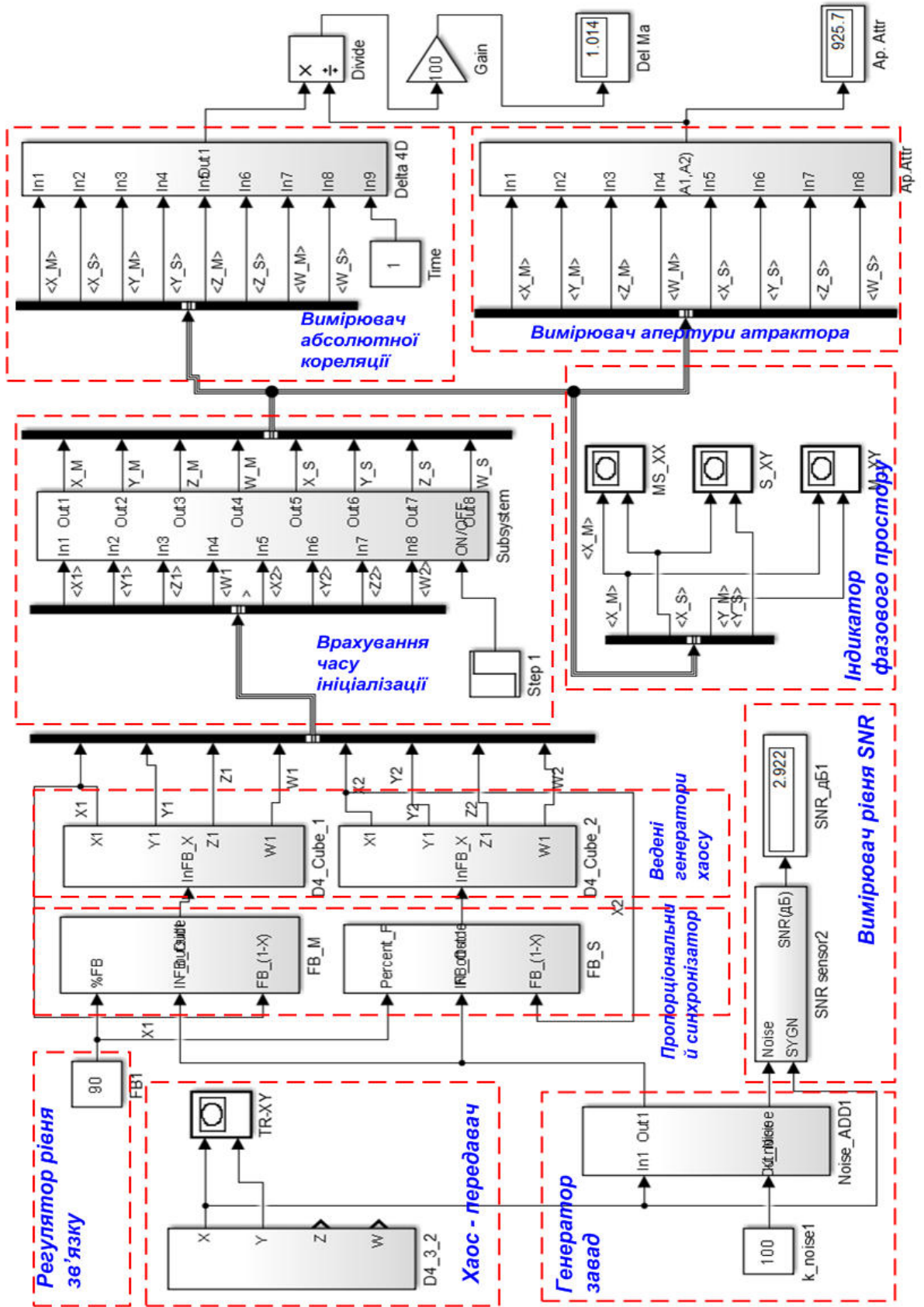


Рисунок 4.1 – Структура верхнього рівня універсальної імітаційної моделі для дослідження хаотичної синхронізації способом допоміжного генератора

Для передавання в напрямку приймача в хаос генераторі вибирається сигнал фазової змінної, що задовольняє умовам поширення в каналі і власне забезпечує наявність синхронізації (на схемі – сигнал X). В субмодулі – генератор завад формується завада певного типу, що додається до хаотичного каналного сигналу, формуючи суміш. В нашому випадку застосовується лінійна адитивна суміш сигналу та гаусівської завади із нульовим математичним сподіванням.

Контроль відносного рівня завади до сигналу в каналі реалізується на основі вимірювача рівня SNR(рис.4.1) та представляється в логарифмічних одиницях дБ на виносному дисплеї імітаційної моделі.

Канальний хаотичний сигнал, спотворений завадами із генератора завад подається одночасно на два ідентичних пропорціональних синхронізатори (додаток В). Крім каналного входу кожен синхронізатор має входи регулятора рівня зв'язку та коло пропорційної взаємодії із веденим генератором. Тобто пропорційний синхронізатор включається в коло зворотного зв'язку тієї фазової змінної, або проміжної змінної, що обрана для передачі в лінії зв'язку.

Таким чином фазова змінна в ведених генераторах є адитивною сумішшю зовнішнього сигналу ведучого генератора та внутрішнього сигналу веденого генератора, а також завад, що додано в каналі зв'язку. При цьому структура веденого хаотичного генератора відрізняється від структури хаос – передавача тільки наявністю розірваного зв'язку під час декомпозиції схеми генератора.

Всі сигнали фазових змінних ведених генераторів об'єднані в єдину шину пропускаються через блок первинної ініціалізації, що є фактично тригером, який дозволяє кореляційний аналіз їх рівня спів падіння після означеного часу, враховуючи різноманітні перехідні процеси, що відбуваються на початкових етапах.

В індикаторі фазового простору імітаційної моделі підключено засоби візуалізації рівня синхронізації, проекції атракторів ведених генераторів, проекції однойменних фазових змінних тощо.

Два останні субмодулі (див. додаток В), розташовані праворуч на схемі реалізують запропонований метод синхронізації генераторів високої розмірності де критерієм виступає абсолютний рівень кореляції по відношенню до апертури атрактора, тобто відносний атракторний рівень кореляції. Як абсолютний рівень кореляції (див.рис.В.4), так і апертура атрактора (див.рис.В.8) може бути визначений за різними критеріями, що описуються внутрішньою структурою відповідних блоків.

Основним результатом роботи такої імітаційної моделі є значення відносної атракторної кореляційної похибки, що для зручності сприйняття результатів збільшена на два порядки, а також значення апертури атрактора, що важливо для врахування збільшення динамічного діапазону під час практичної реалізації. Універсальна модель випробувана на хаотичних генераторах розмірностей як 3D так і 4D

4.2 Передача цифрових повідомлень на основі хаотичної синхронізації

Головна перевага хаотичних систем зв'язку – високий рівень криптографічної стійкості, що забезпечується оператором еволюції та вибором значень біфуркаційних параметрів. Якщо ці характеристики невідомі конкуренту, то детектувати повідомлення вкрай проблематично, особливо під час наявності потужних навмисних або ненавмисних завад.

Наперед за все в системах хаотичного зв'язку слід визначитись із способом введення цифрового інформаційного сигналу в хаотичну підносівну. Для порівняння таких способів вводиться ряд кількісних параметрів, розглянутих нижче.

Критичне відношення сигнал – шум (SNR_c) встановлюється як відношення енергії, що припадає на 1 біт інформаційного повідомлення до

спектральної густини потужності шуму, під час якого по отриманому повідомленню неможливо встановити інформацію, що передавалась.

Другим важливим параметром для порівняння хаотичної модуляції є бітовий коефіцієнт помилок (BER), являє собою кількість виявлених помилок відносно кількості бітів, що передано (4.1). За допомогою ймовірнісних характеристик Байєса виявлення його значення можливо отримати як:

$$BER = 2(P_{01}P_0 + P_{10}P_1) \quad (4.1)$$

де параметри ймовірностей помилкового переходу із лог.0 в лог.1 (P_{01}) та навпаки (P_{10}) характеризують систему загалом.

Наступним параметром хаотичної модуляції, є максимальне відхилення (РМс) параметрів біфуркації ГДХ в системі, що виражено у відсотках. Цей параметр враховує неможливість досягнення ідентичності параметрів біфуркації на приймальному та передавальному боці хаотичної системи.

Усі лінії передачі та тракти каналів мають певний рівень нелінійних спотворень, наперед таки параметром нехтують, але нехтування нелінійною характеристикою лінії зв'язку в хаотичних системах може мати фатальні наслідки, тому для характеристики хаотичної модуляції вводять порівняльну характеристику - припустимий рівень нелінійних спотворень ND_c (4.2) каналу за якої передача проходить із заданим рівнем BER. Під час формування імітаційних моделей (див. додаток В) найбільш часто застосовують кубічний тип нелінійності $y = x(1 - \alpha x^2)$, де α - параметр, значення якого наближається до нуля.

Важливим також в каналах передачі є затухання сигналу, що не дозволяє реалізувати схему синхронізації в умовах декомпозиції ведених генераторів:

$$ND_C = 10 \lg \left\{ \frac{P_{nep}}{P_{np}} \right\} [\text{дБ}] \quad (4.2)$$

де $P_{пер}$ – потужність сигналу на виході хаос- передавача;

$P_{приу}$ – потужність сигналу на вході хаос-приймача.

Під час аналізу цих характеристик для різних варіантів введення інформаційного сигналу в хаотичний сформована таблиця порівняння (табл.3.2). Для порівняння в таблицю 3.2 введено також і аналогові способи введення інформаційного сигналу в процес хаотичної передачі.

Таблиця 4.1 – Таблиця порівняльних параметрів схем введення інформаційного сигналу в хаотичну піднесівну

№	Назва схеми модуляції	SNR _c , дБ	PM _c , %	ND _c , дБ
1	Хаотичне маскування	56,48	0,30	1,03
2	Перемикання хаотичних режимів	30,76	2,00	23,3
3	Нелінійне підмішування	64,99	0,30	0,26
4	Модуляція керуючих параметрів генератора	30,76	2,00	23,3
5	Модуляція на основі фазової синхронізації	32,40	0,80	10,7
6	Модуляція на основі узагальненої синхронізації	39,52	1,00	7,75
7	Модуляція на основі комбінованої синхронізації	39,24	0,50	4,83
8	Модуляція на основі використання додаткового складного сигналу	61,47	0,20	2,63
9	Модуляція на основі використання хаотичного синхронного відгуку	-10,01	2,00	27,2

Відповідно таблиці 4.1 більшість схем стає працездатною, окрім схеми за номером 9, коли маємо значні відношення сигнал-шум, що говорить про обмежену стійкість до завад таких способів модуляції хаотичної піднесівної. Особливим є спосіб модуляції за номером 9, що обумовлює факт додаткової криптографічної стійкості та прихованості дії. Отже для схеми 9 можливо говорити про конструктивний вплив шуму на передачу даних, тоді як в решті способів модуляції вплив шуму є явно деструктивним.

Решта параметрів схеми модуляції №9 також переважають параметри інших схем хаотичної модуляції, тому систему зв'язку на основі хаотичного синхронного відгуку будемо застосовувати в цій магістерській роботі.

4.3 Вибір біфуркаційних параметрів для хаотичного відгуку

Механізм передачі цифрової інформації на основі хаотичного синхронного відгуку полягає в наступному (рис.4.2). Інформаційний сигнал $m(t)$ представляється у вигляді цифрового бінарного повідомлення.

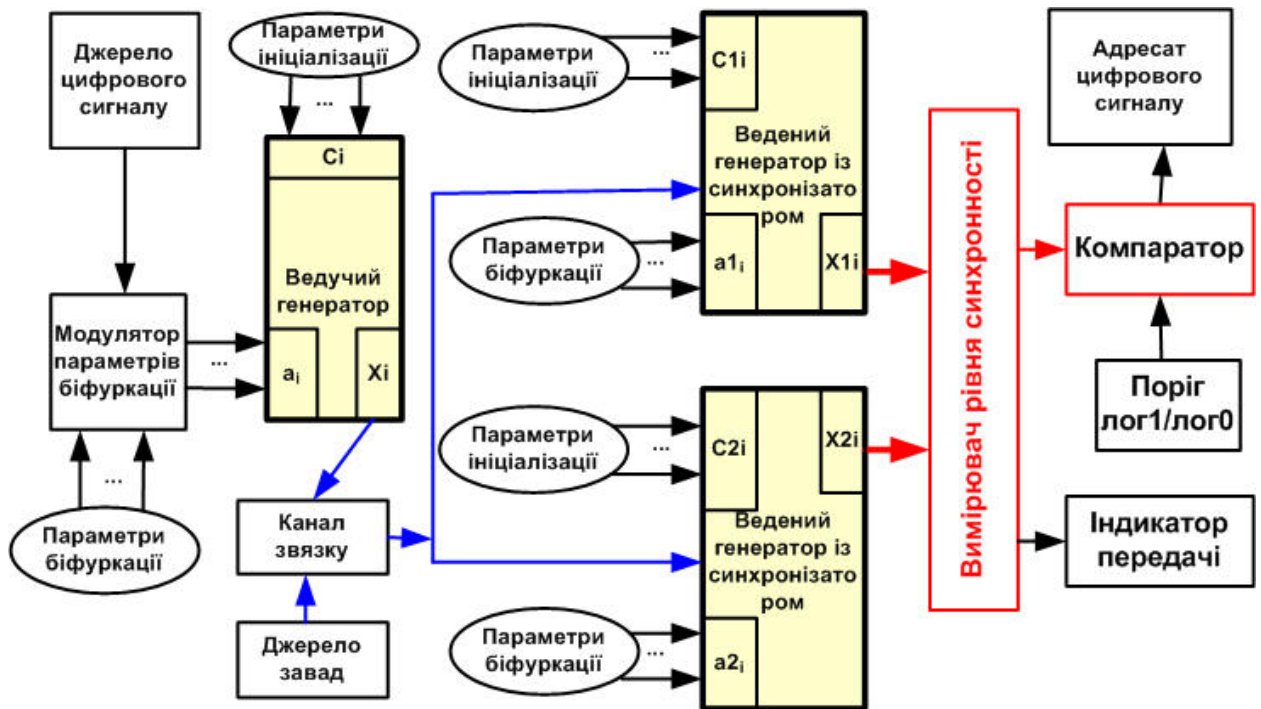


Рисунок 4.2 – Схема хаотичної модуляції за параметрами біфуркації

Один або декілька біфуркаційних параметрів ГДХ $x(t)$ модулюються таким чином (рис.4.2), щоб забезпечити відмінність хаотичного режиму від ведених генераторів на заданому рівні, при чому характер модульованих коливань під час передачі різних логічних рівнів для зовнішнього спостереження не має змінюватись, наприклад, реалізується однакова середня потужність, форма та розміри атрактора, тощо.

Параметри ініціалізації ведучого та ведених генераторів встановлюються максимально близькими для зменшення часу перехідних процесів під час ідентифікації логічних рівнів. Біфуркаційні параметри

ведених генераторів та ведучого генератора забезпечують реалізацію хаотичних режимів їх роботи та є відмінними для кожного із ГДХ.

Запропоновано наступну схему вибору біфуркаційних параметрів приймача та передавача. Параметри ведених генераторів на боці приймача встановлюються в межах біфуркаційного поля значень таким чином, що б забезпечити їх достатню віддаленість один від одного, а значить і суттєву відмінність хаотичних режимів.

Якщо параметри зв'язку, шуму в каналі, способу обробки вибрати певним чином, то через встановлення поля параметрів передавача між полями параметрів ведучих генераторів можливо забезпечити високий рівень хаотичного синхронного відгуку від обох ведених генераторів. Цей факт може слугувати маркером початку цифрової передачі та на схемі рис.4.2 фіксується у блоці передачі.

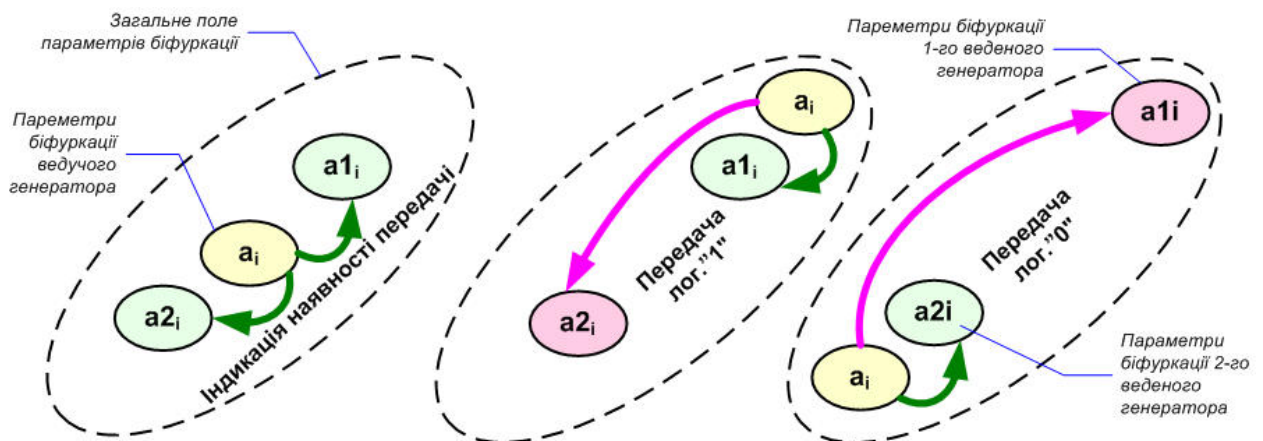


Рисунок 4.3 – До пояснення правил вибору параметрів біфуркації хаотичних генераторів в системі прихованого зв'язку

Якщо поле параметрів хаотичного передавача перемістити таким чином (рис.4.3), що б воно було ближче до першого веденого генератора, то синхронний відгук буде більшим у першого генератора і меншим у другого. Якщо поле біфуркаційних параметрів модуляцією змістити у бік поля біфуркаційних параметрів другого веденого генератора, то другий ведений буде давати більший синхронний відгук ніж перший ведений генератор

(рис.4.3). Фіксуючи рівень нормованого синхронного відгуку порівняно із пороговим значенням можливо розрізнити передачу логічних рівнів тим краще, чим більше різняться синхронні відгуки.

На рис.4.3 зеленими стрілками позначено взаємодія веденого та ведучого ГДХ із високим рівнем хаотичного синхронного відгуку, а червоними взаємодія із низьким рівнем. Різниця між цими рівнями визначає запас завадостійкості системи під час ідентифікації логічних рівнів. .

Алгоритм передачі сигналів у випадку простої кореляції за однією змінною хаотичної динамічної системи виглядає як:

$$\left[\delta_{\Sigma} > \delta_{\text{нор}} \right] \rightarrow \text{лог."1"}; \left[\delta_{\Sigma} < \delta_{\text{нор}} \right] \rightarrow \text{лог."0"}; \delta_{\Sigma} = \int_0^{NT_0} (x_1 - x_2)^2 dt \quad (4.3)$$

Таким чином роботи системи цифрової передачі відбувається під час діагностування більшого або меншого рівня узагальненого синхронного відгуку.

Синхронізація в такій системі виникає як під час дії завад, так і під час їх відсутності, але однаково на два генератори. В дослідженнях, проведених в цій роботі раніше виявлено, що під час дії шуму об'єм атракторів для ведених ГДХ змінюється досить суттєво, що потребує застосування критерію ідентичності замість (4.2), що враховує цей факт.

4.4 Результати досліджень за критерієм атракторної кореляції

Для спрощення та пришвидшення аналізу створена об'єднана схема дослідження узагальненої модуляції, що складається із двох каналів хаотичної обробки (лог.0 та лог.1) які паралельно працюють за двома критеріями рівня глибини узагальненої синхронізації: середньоквадратичним та знакозмінним.

Результатами розрахунків є відношення рівня синхронізації, що відповідає передачі лог.1 та рівня синхронізації, що відповідає лог.0. Таке узагальнене відношення показує в скільки разів рівень синхронізації під час

передавання одного логічного рівня більше або менше рівня синхронізації за іншим рівнем. В цифровій техніці подібне відношення прийнято називати запасом завадостійкості.

Порогове значення для ідентифікації логічних рівнів приймається як середнє значення між рівнями синхронізації (або нормованими рівнями синхронізації). Чим більший запас завадостійкості та стабільніше його значення, тим менше бітових помилок виникає, тим вища якість хаотичної системи прихованого зв'язку.

Час розрахунку за схемою (рис.4.4) в середньому становив 20 хвилин в залежності від збіжності алгоритму вирішення системи диференційних рівнянь. За базовий алгоритм отримання рішень системи диференційних рівнянь обрано алгоритм Рунге-Кутта 4 порядку. Перевірена робота також за допомогою інших алгоритмів, присутніх в системі Matlab/Simulink, де отримано аналогічні результати.

Для генераторів детермінованого хаосу високого порядку під час встановлення біфуркаційних параметрів для кодування у вигляді хаотичного режиму НДС встановлено наступні умови моделювання:

1. Відносна відмінність біфуркаційних параметрів ведених генераторів динамічного хаосу для ідентифікації рівнів лог. „1" та лог. „0" складає близько 5%.

2. Відносна відмінність біфуркаційних параметрів генераторів динамічного хаосу передавача та веденого генератора приймача складає близько 0,5%.

Такі умови відповідають обраному алгоритму ідентифікації логічних символів під час їх кодування різними режимами хаотичної роботи генератора детермінованого хаосу на передавальному боці системи передачі цифрової інформації описаному вище.

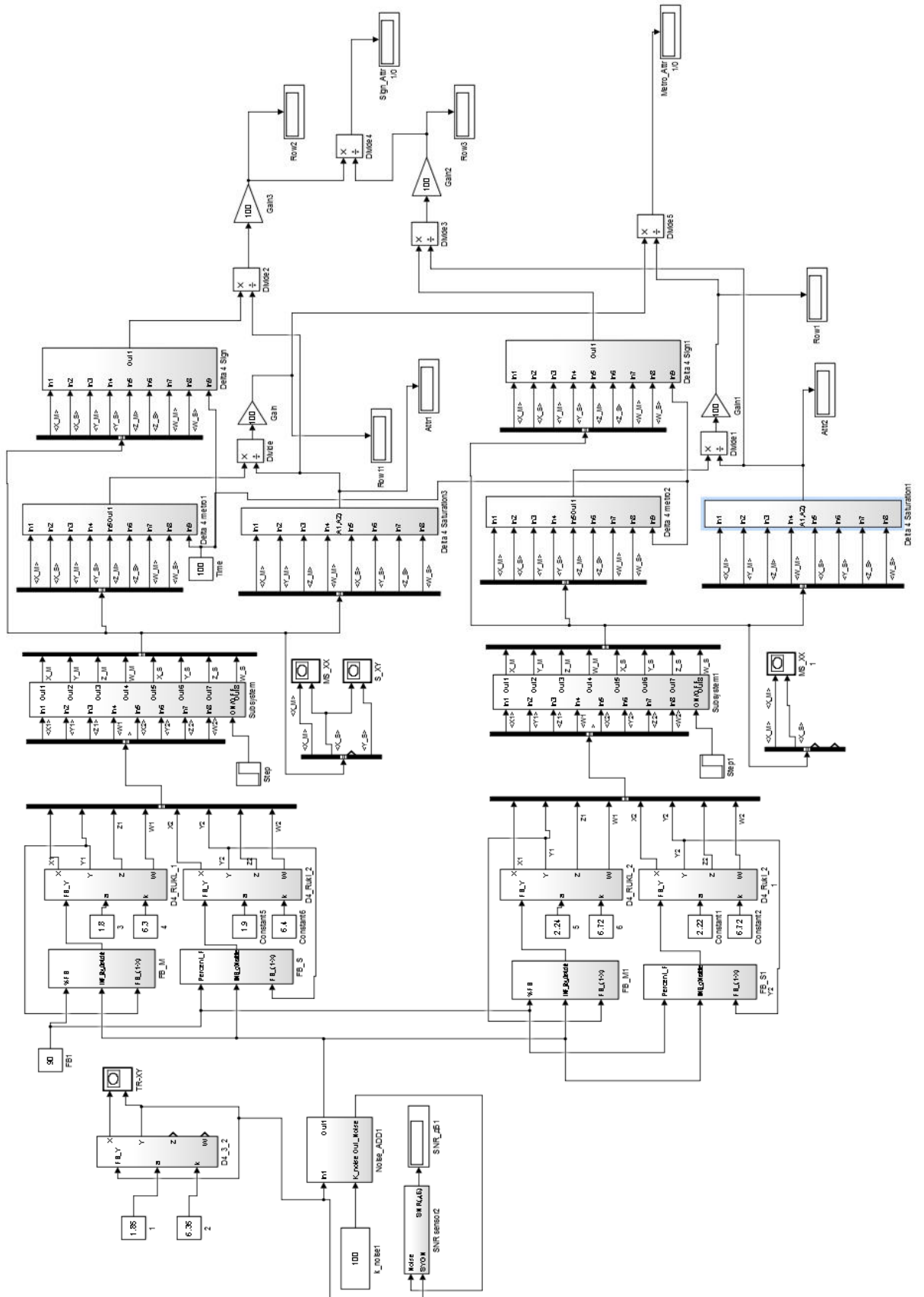


Рисунок 4.4 – Об’єднана універсальна схема дослідження узагальненої синхронізації за методом допоміжного сигналу та критерієм атракторної кореляції

Під час моделювання проводилось дослідження залежності рівня завадостійкості передачі логічних рівнів в хаотичній системі на базі узагальненої синхронізації на основі двох критеріїв від рівня завад в каналі передачі для синхронізації 1-го веденого (Master) та синхронізації 2-го веденого (Slave) хаотичного генератора (рис.4.5).

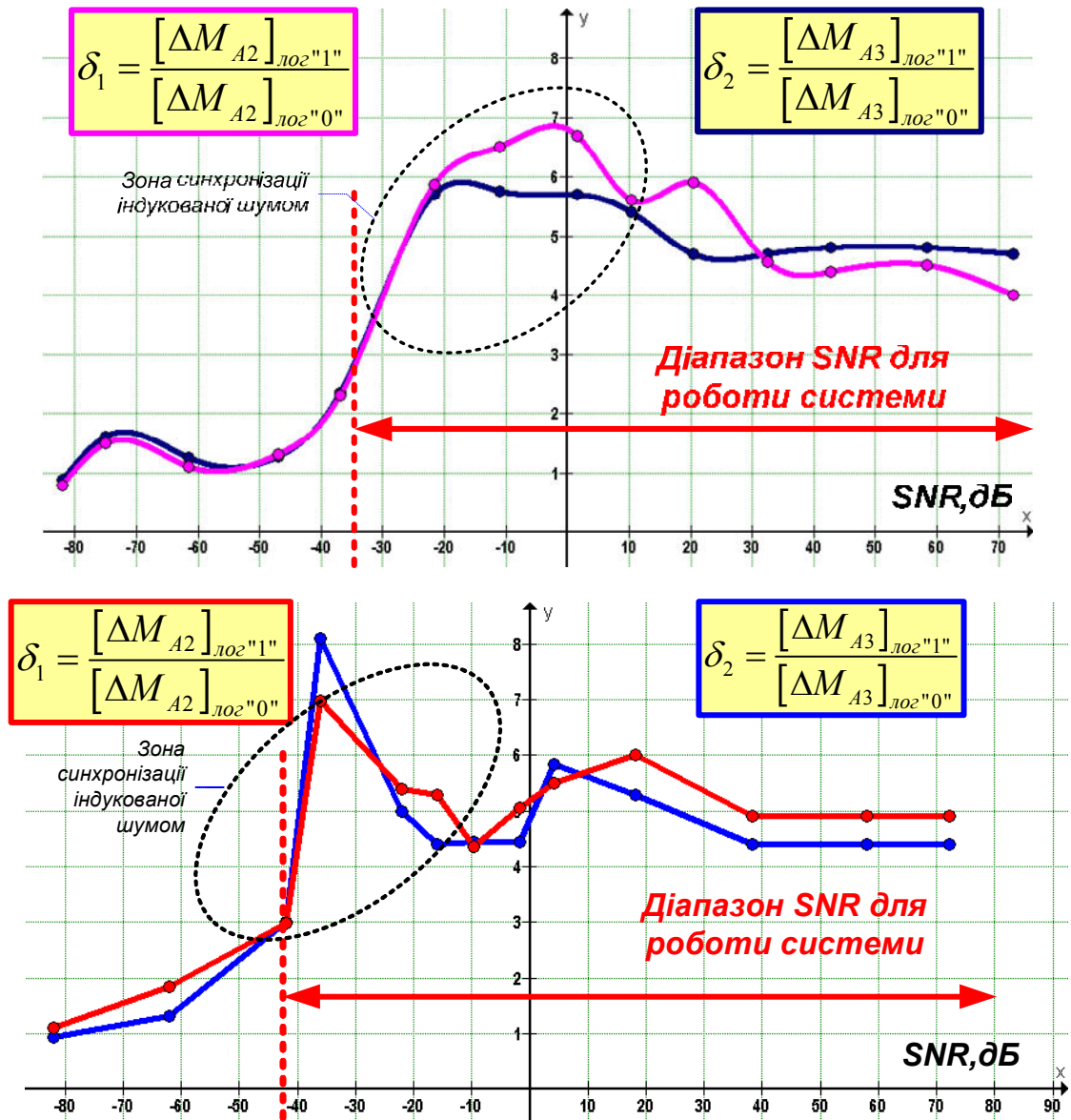


Рисунок 4.5 – Залежність запасу завадостійкості цифрових рівнів хаотичної цифрової системи зв'язку від рівня завад в лінії передачі для основного (зверху) та допоміжного (знизу) ведених хаотичних генераторів приймача

Аналіз отриманих даних під час імітаційного моделювання дозволив зробити наступні висновки:

1. Відносний запас завадостійкості передачі логічних рівнів запропонованим методом синхронізації сягає близько 400%, що відповідає запасу завадостійкості логічних рівнів більшості класичних цифрових серій і навіть перевищує деякі з них (ТТЛ-5, ЕЗЛ-2, КМОН-7, ПЕЗЛ -5, LVDS-4).

2. Відносний запас завадостійкості дозволяє підтримувати працездатність системи за умови відношення сигнал-шум до -40 дБ, де ефективно значення завади на два порядки вище ефективного значення хаотичного сигналу. Отже фактично такою системою забезпечується висока прихованість дії, а зовнішньому спостерігачу сигнал в каналі здається стохастичним.

3. Запропоновані критерії в методі синхронізації із запропонованим способом вибору біфуркаційних параметрів в діапазоні до -20 дБ забезпечують відхилення запасу завадостійкості не більше як 25%.

4. Ідентифікація логічних рівнів за знакозмінним критерієм відносно середньоквадратичного критерію відбувається із запасом завадостійкості близько 300%, що теж достатньо для надійної роботи цифрових логічних схем, але менше ніж для першого критерію.

5. В зоні відємних значень відношення сигнал-шум близько -30дБ спостерігаються ефекти хаотичної синхронізації індукованої шумом, що збільшують запас завадостійкості в 1,5 рази, та є прикладом конструктивного впливу шуму на процеси зв'язку хаотичними сигналами.

6. Стабільність абсолютних та відносних логічних рівнів в представленій хаотичній системі зв'язку не потребують адаптації порогу компаратора результату атракторної кореляції до рівня відношення сигнал-шум у -40дБ.

7. Для задовільної роботи схеми динамічний діапазон для сигналів ведених генераторів має бути збільшений по відношенню до динамічного діапазону сигналів хаотичного передавача більше як в 100 разів, що є розплатою за високий рівень прихованості дії. При чому апертура атрактора

збільшується саме за тою фазовою змінною, сигнал якої використовується для передачі в лінії зв'язку.

Паралельно основним дослідженням проводився аналіз поведінки параметра запас завадостійкості відносно зміни нормованого часу ідентифікації логічного рівня під час передачі одного біту (рис.4.6).

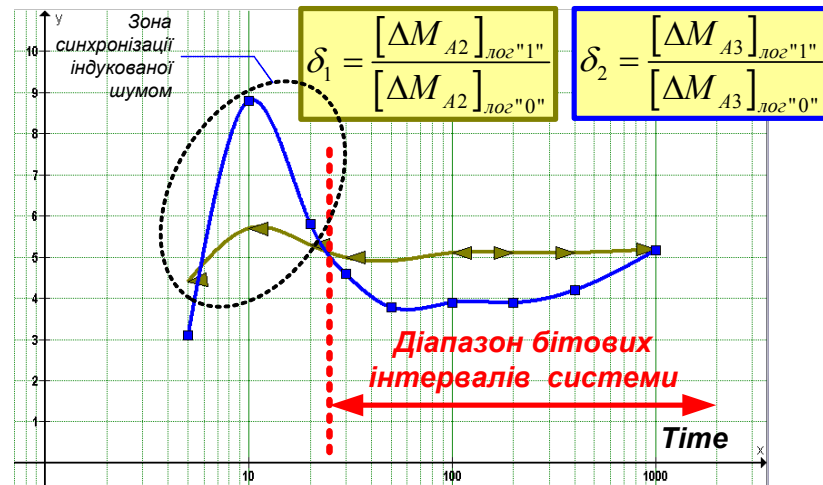


Рисунок 4.6 – Залежність запасу завадостійкості від кількості фазових циклів генератора детермінованого хаосу передавача

Аналіз часової залежності (рис.4.6) також дозволив зробити висновок про працездатність системи якщо кількість фазових циклів на передачу одного біту перевищує декілька десятків. За цей час ведені генератори встигають або повністю синхронізуватись із ведучим, або їх фазові траєкторії розбігаються та рівень синхронізації за запропонованим критерієм зростає. Поведінка графіку залежності для обох критеріїв подібна, що говорить про можливість застосування будь якого критерію що забезпечує простішу апаратурну реалізацію, а таким є знакозмінний критерій.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз систем із нелінійною динамікою, виділено основні поняття хаотичної динаміки, запропоновано класифікаційну схему динамічних систем, на класифікаційній схемі показано рівні що відповідають об'єкту та предмету дослідження в магістерській роботі.

2. Проведено розгляд умов появи хаотичної поведінки та індикатори хаотичної поведінки нелінійних динамічних систем в рамках розбігання фазових траєкторій, фрактальної розмірності, ентропії дивного атратора, ентропії Шенона та ентропії Колмогорова-Сінаї. Показано, що натепер головним механізмом аналітичного дослідження хаотичних систем є показники Ляпунова та вторинні параметри, що за ними обраховуються. З практичної точки зору аналіз систем із хаотичною поведінкою проводиться на основі аналізу часу передбачення поведінки системи та інтервалу кореляції.

3. Визначено три відмінні риси хаотичних процесів які дозволяють підвищувати тактико-технічні характеристики телекомунікаційних систем: широкосмуговість, складність сигналу детермінованого хаосу, квазіортогональність часових реалізацій. В рамках аналізу операторів еволюції нелінійних динамічних систем запропоновано класифікацію умов для появи хаотичної поведінки в системі.

4. Розглянуто способи ідентифікації хаотичної поведінки в нелінійній динамічній системі, запропонована класифікація способів ідентифікації хаотичної поведінки. Показано, що для виявлення хаотичної поведінки та визначення «рівня хаосу» із практичної точки зору найбільш придатними є аналіз показників Ляпунова (якщо відомий оператор еволюції), аналіз чутливості до початкових умов, кореляційний та спектральний аналізи. Решта способів спряжена із складними тривалими математичними розрахунками, що важко реалізувати в реальних ділянках часу.

5. На основі розгляду можливостей хаотичної синхронізації генераторів детермінованого хаосу показано, що найбільш придатною схемою синхронізації є синхронізація через декомпозицію та з'єднання веденого та ведучого генераторів детермінованого хаосу та виявлення процесу синхронізації через явище хаотичного синхронного відгуку.

6. Запропоновано усі різновиди хаотичної синхронізації розглядати як окремі варіанти узагальненої синхронізації, запропоновано класифікаційну схему для різновидів узагальненої синхронізації, показано що за умов наближеної або неповної синхронізації під час хаотичного синхронного відгуку проявляються ефекти, властиві фазовій, граничній та синхронізації масштабування.

7. Розглянуто методи та способи практичного застосування ефекту хаотичної синхронізації для побудови телекомунікаційних систем. Встановлено, що з точки зору тактичних характеристик, застосування телекомунікаційних систем із хаотичною синхронізацією в першу чергу доцільне для досягнення прихованості дії та криптографічної стійкості передавання інформації.

8. Розглянуто запропоновані різними авторами нелінійні динамічні системи 4го порядку із хаотичною поведінкою з точки зору структури нелінійного оператора еволюції. Запропоновано класифікаційну схему операторів еволюції (правої частини диференціальних рівнянь). Показано, що існуючі рішення за типом оператора еволюції відповідають кусково-лінійній, поліноміальній або змішаній нелінійності.

9. Для характеристики хаотичного процесу запропоновано застосовувати поняття апертури атрактора. Для обчислення апертури атрактора запропоновано методику визначення максимальних і мінімальних значень фазових змінних. На основі поняття апертури атрактора запропоновано метод визначення похибки синхронізації та встановлено чисельний критерій розбігання фазових траєкторій. Проведено імітаційне моделювання розбігання фазових траєкторій для генераторів високої

розмірності із різними типами нелінійності залежно від відносного часу аналізу та відсотка відхилення біфуркаційних параметрів та впливу адитивного гаусівського шуму.

10. Запропоновано універсальну імітаційну модель для дослідження систем із хаотичним синхронним відгуком в рамках застосування генераторів високої розмірності. Модель дозволяє встановлювати такі параметри: параметри біфуркації, параметри ініціалізації, час аналізу, рівень взаємного впливу, структуру генератора детермінованого хаосу, структуру ідентифікатора хаотичного режиму, змінювати критерії, тощо. Результатом роботи моделі є відносний рівень завадостійкості передачі цифрових рівнів телекомунікаційної системи із хаотичною піднесівної на основі використання ефекту хаотичного синхронного відгуку.

11. На основі розробленої моделі проведено імітаційне моделювання та побудовано залежності відносної завадостійкості від відношення сигнал-шум в каналі передачі цифрових даних. Аналіз залежності показує, що працездатність системи цифрових телекомунікацій на основі хаотичної синхронізації за методом допоміжного сигналу може зберігатись за умов відношення сигнал-шум до мінус 40дБ із ступенем завадостійкості по логічним рівням у 400%. Також імітаційне моделювання виявило ефект збільшення об'єму та апертури атратора для ведених генераторів методу допоміжного генератора більш як на 40дБ, що вимагає широкого динамічного діапазону пристроїв кореляції хаотичних сигналів на приймальному боці системи.

12. Під час проведення імітаційного моделювання проводились дослідження показників працездатності телекомунікаційної системи під час зміну часу взаємодії сигналів основного та допоміжного генератора в режимах хаотичного синхронного відгуку. Показано, що для забезпечення працездатності хаотичної системи зв'язку генератори мають «пройти» мінімум декілька десятків фазових циклів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кузнецов С. П. Динамический хаос (курс лекций) / С. П. Кузнецов. – М.: Физматлит, 2006. – 356 с.
2. Анищенко В.С. Знакомство с нелинейной динамикой. Лекции Соросовского профессора: Учеб. пособие / Анищенко В.С. – М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. – 144 с
3. Прикладне застосування теорії хаотичних систем у телекомунікаціях : монографія / Ю. Я. Бобало, С. Д. Галюк, М. М. Климаш, Р. Л. Політанський ; Міністерство освіти і науки України, Національний університет "Львівська політехніка". – Львів; Дрогобич : Коло, 2015. – 184 с.
4. Волковский А. Р. Синхронный хаотический отклик нелинейной системы передачи информации с хаотической несущей / А.Р. Волковский, Н.В. Рудков // Письма в ЖТФ.– 1993.– Т. 19. – №. 3. – С. 71–75.
5. Pyragas K. Conditional Lyapunov exponents from time series / K. Pyragas //Phys. Rev. E. – 1997. – Vol. 56. – № 5. – P. 5183–5188.
6. Фрадков А.Л. Управление хаосом: Методы и приложения. Часть. 1. Методы / А.Л. Фрадков, Б.Р. Андриевский // Автоматика и телемеханика. – 2003. – Вып. 5. – С. 3 – 45.
7. Дмитриев А.С. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи / А. С. Дмитриев, А. И. Панас. – М.: Издательство Физико–математической литературы. – 2002. – 252с
8. Сугаков В. Й. Основи синергетики.– К.: Обереги, 2001.– 287с
9. Boccaletti S. The synchronization of chaotic systems / S. Boccaletti, J. Kurths, G. Osipov, D. L. Valladares, and C. S. Zhou // Physics Report. – 2002. – Vol. 366. – № 1–2. – P. 1–101
10. X. Han , J.A. Lu and X. Wu, Adaptive feedback synchronization of Lü system, Chaos, Solitons and Fractals, vol. 22, no.1, pp. 221-227, 2004.

11. Галюк С. Д. Особливості синхронізації хаотичних систем (огляд) // С.Д. Галюк., Л.Ф. Політанський, М.Я. Кушнір, Р.Л. Політанський // Складні системи і процеси. – 2011. – №2. – С. 3–29.
12. Pecora L.M Synchronization in chaotic systems / L. M. Pecora, T. L. Carroll // *Phys. Rev. Lett.* – 1990. – Vol. 64. – № 8. – P. 821–824.
13. Анищенко В.С. Эффект захвата базовой частоты хаотических автоколебаний. Синхронизация странных аттракторов / В.С. Анищенко, Д.Э. Постнов // *Письма в ЖТФ.* – 1988. – Т. 14. – № 6. – С. 569–573.
14. Rulkov N.F. Generalized synchronization of chaos in directionally coupled chaotic systems / N. F. Rulkov, M. M. Sushchik, L. S. Tsimring, H. D. I. Abarbanel // *Phys. Rev. E.* – 1995. – Vol. 51. № 2. – P. 980–994
15. Москаленко О.М. Хаотическая синхронизация (Различные механизмы и применение для передачи информации) / О.М. Москаленко // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико–математических наук, Саратов. – 2008. – 215с.
16. Овчинников А. А. Экспериментальное исследование обобщенной синхронизации хаотических колебаний в присутствии шума / А. А. Овчинников, О. И. Москаленко, А. А. Короновский, А. Е. Храмов // *Письма в ЖТФ* – 2010.–Т. 36.–№ 4. –С. 1–7.
17. Voss H.U. Anticipating chaotic synchronization/ H. U. Voss // *Phys. Rev. E.* – 2000–Vol. 61. – No 5. – P. 5115–5119.
18. А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов, Граница возникновения режима обобщенной синхронизации хаотических осцилляторов, *Радиотехника и электроника* 52 (8) (2007) 949– 960.
19. BOURAOU, H. et KEMIH, K. Observer-based synchronization of a new hybrid chaotic system and its application to secure communications. *Acta Phys. Polonica A*, 2013, vol. 123, p. 259-262.
20. LI, Chunlai et ZHANG, Jing. Synchronisation of a fractional-order chaotic system using finite-time input-to-state stability. *International Journal of Systems Science*, 2016, vol. 47, no 10, p. 2440-2448.

21.В. С. Анищенко, В. В. Астахов, Т. Е. Вадивасова, Регулярные и хаотические автоколебания. Синхронизация и влияние флуктуаций., Издательский Дом "Интеллект. 2009.

22.ZOUAD, Fadia, КЕМІН, Karim, et НАМІСНЕ, Hamid. A new secure communication scheme using fractional order delayed chaotic system: design and electronics circuit simulation. Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 2019, vol. 99, no 3, p. 619-632.

23.Шахтарин, Б.И. Исследование режимов генераторов хаоса / Б.И. Шахтарин, Ю.А. Сидоркина, В.Ю. Аливер, П.И. Кобылкина // Радиотехника и электроника. – 2003. – Т. 48. – № 12. – С. 1471–1483.

24.Галюк С.Д. Синхронізація хаотичних систем і фільтрація сигналів в каналі зв'язку / С.Д. Галюк, М.Я. Кушнір, Л.Ф. Політанський, Р.Л. Політанський // Східно–Європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 1/5(43). – С. 20–24.

25.Kapitaniak T. Synchronization of chaos using continuous control / T.Kapitaniak //Phys. Rev. E. – 1994. – Vol. 50. – № 2. – P. 1642–1644

26.Kocarev L. General approach for chaotic synchronization with applications to communication / L. Kocarev and U. Parlitz // Phys. Rev. Lett. – 1995. – Vol. 74.– № 25. – P. 5028–5031

27.Pecora L.M. Synchronization in chaotic systems / L. M. Pecora, T. L. Carroll //Phys. Rev. Lett. - 1990. - Vol. 64. - № 8. - P. 821-824.

28.W. Wu, Z. Chen and Z. Yuan, The evolution of a novel four-dimensional autonomous system: Among 3-torus, limit cycle, 2-torus, chaos and hyperchaos, Chaos, Solitons and Fractals, 2007.

29.G. Qi , G. Chen, Analysis and circuit implementation of a new 4D chaotic system, Physics Letters A, vol. 352, no.4-5, pp. 386-397, 2006.

30.Qi G, Jacobus B, Wyk V, Antonie M. A four-wing attractor and its analysis. Chaos, Solitons Fractals 2009;40(4):2016–30.

31.Кроновер, Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории: пер. с англ. – L.: Jones and Bartlett Publishers Inc.; М.: Постмаркет, 1999.– 352с.

32.Мачехин Ю. П. Физические основы метрологии нелинейных динамических систем / Ю. П. Мачехин, Ю. С. Курской // Украинский метрологический журнал - 2017 - N 1 - с. 8-10.

33.Залогин Н.Н., Кислов В.В. Широкополосные хаотические сигналы в радиотехнических и информационных системах. / – М.: Радиотехника, 2006, с. 208.

34.Дмитриев, А. С. Сверхширокополосная беспроводная связь на основе динамического хаоса / А. С. Дмитриев, А. В. Клецов, А. М. Лактюшкин, А. И. Панас, С. О. Старков // Радиотехника и Электроника. – 2006. – т.51, № 10. – С.1193–1209

35.Voss H.U. Real-time anticipation of chaotic states of an electronic circuit/H. U Voss // Int. J. Bifurcation and Chaos–2002. – Vol. 12. – No 7.–P. 1619–1625

36.Політанський Л.Ф. Багатокористувальницька система зв'язку з використанням хаотичної частотної модуляції / Л.Ф. Політанський, М.Я. Кушнір, Р.Л. Політанський та ін. // Східно-Європейський журнал передових технологій – 2010. – № 1/5(43). – С. 44–47.

37.Дмитриев, А. С. Прямохаотические системы связи / А. С. Дмитриев, Л. Метод параметричних вимірювань з використанням генератора хаотичних коливань/ Кучерук В.Ю., Маньковська В.С.// Вісник Інженерної академії України. – 2009. - №1. - С. 116 – 120.

38.Короновский А.А. О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации / А.А. Короновский, О.И. Москаленко, А.Е. Храмов // Успехи физических наук. – 2009. – Т. 179. – № 12. – С. 1281–1310.

39.Пиковский А. С. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление / А.С. Пиковский, М.Г. Роземблюм, Ю. Куртс. – Москва : Техносфера. – 2003. – 496 с

40.Голевич О. Б. Впорядкування ансамблів СДХ та способи їх використання в надширокосмугових телекомунікаційних / О. Б. Голевич О. С. Пивовар, І.В. Троцишин // Цифрові технології. – Одеса, 2015. – № 17.– С. 181-191.

41.U. Parlitz, L. O. Chua, L. Kocarev, K. S. Halle, A. Shang, Transmission of digital signal by chaotic synchronization, *Int. J. Bifurcation and Chaos* 2 (4) (1992) 973–977.

42.Maximov N.A., Panas A.I. Microwave chaotic oscillators with controlled bandwidth. *Proc. ICCSC'2004, June 30–July 2, Moscow, Russia, 2004.*

43.Губанов Д., Дмитриев А., Панас А., Старков С., Стешенко В. Генераторы хаоса в интегральном исполнении // *Chip news. Новости о микросхемах*, 1999, №8, с. 9–14.

44.Ефремова Е.В., Атанов Н.В., Дмитриев Ю.А. Генератор хаотических колебаний радиодиапазона на основе автоколебательной системы с 2.5 степенями свободы // *Известия ВУЗов. Прикладная нелинейная динамика*, 2007, т. 15, № 1, с. 23–41

45.Y. Zou, J. Zhu, G. Chen and X. Luo, “ Synchronization of hyperchaotic oscillators via single unidirectional chaotic-coupling,” *Chaos, Solitons and Fractals*, Vol. 25, pp. 1245-1253, 2005.

46.C. Zhou, C. Yang, D. Xu, and C. Chen, “Coexisting attractors, circuit realization and impulsive synchronization of a new four-dimensional chaotic system,” *Modern Physics Letters B*, vol. 33, no. 3, Article ID 1950026, 2019.

47.Guoyuan Qi, Shengzhi Du, Guanrong Chen, Zengqiang Chen, Zhuzhi Yuan. On a four-dimensional chaotic system // *Chaos, Solitons and Fractals*. 2005. – No. 23. – P. 1671–1682.

48.Еліяшів О.М., Русин В.Б., Політанський Л.Ф., Кушнір М.Я. Політанський Р.Л. Дослідження властивостей нелінійного елемента передавача хаотичної системи зв'язку / О.М. Еліяшів, В.Б. Русин, Л.Ф. Політанський, М.Я. Кушнір, Р.Л. Політанський. // *Радиоэлектроника и информатика*. – 2011. – № 2(53). – С. 12–16

ДОДАТОК А
ГЕНЕРАТОРИ ТА СИГНАЛИ ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСУ

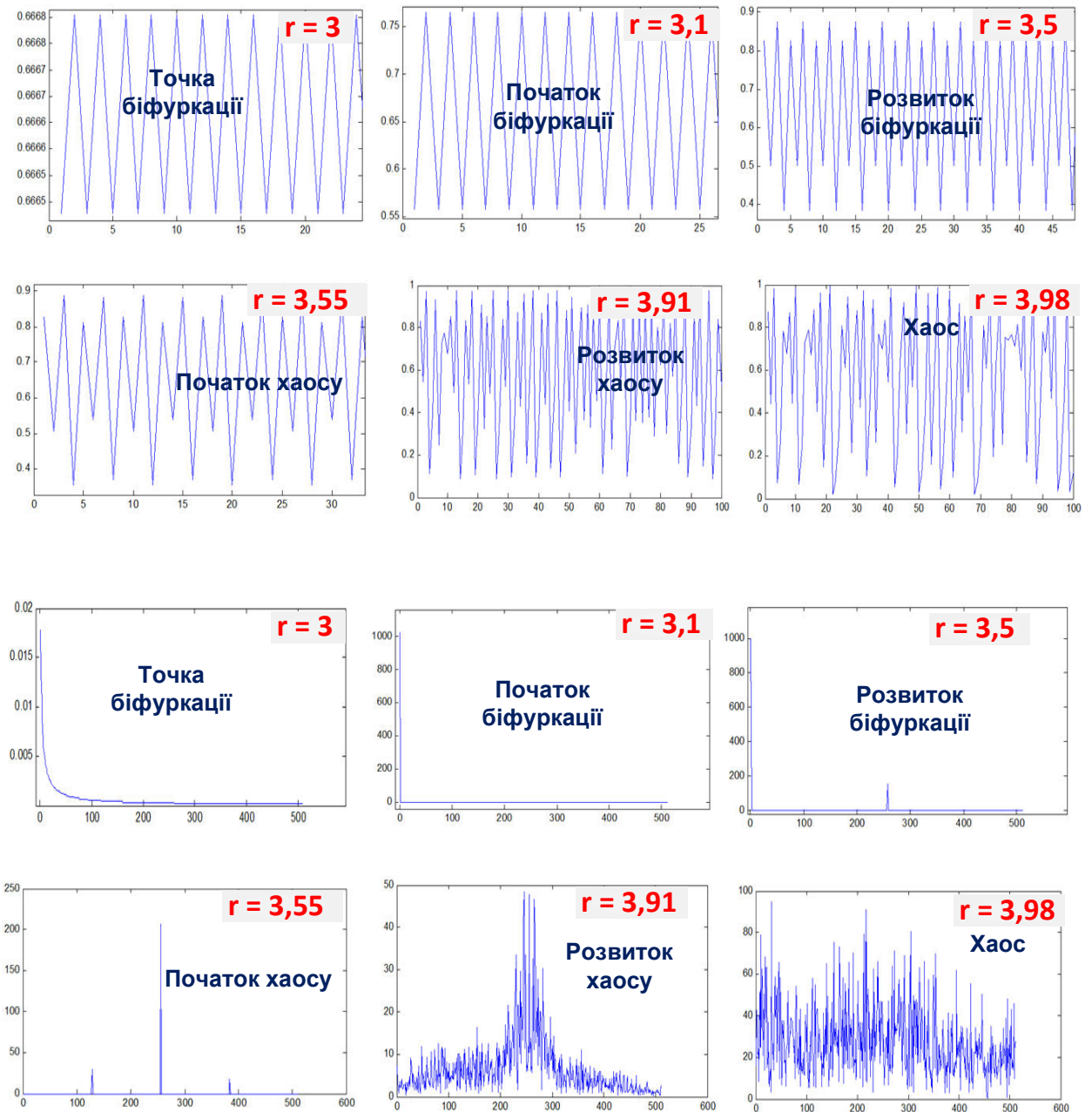


Рисунок А.1 – Часові діаграми та спектр сигналу логістичного хаотичного генератора для різних значень керуючого параметра

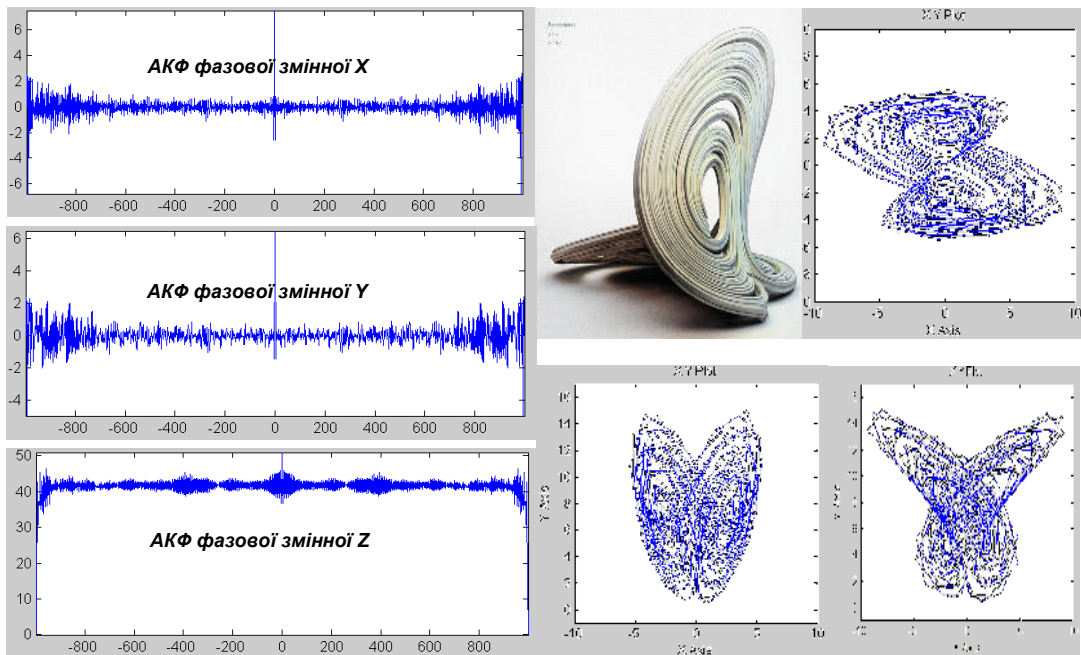


Рисунок А.2 – Автокореляційні функції (ліворуч) та фазові портрети (праворуч) типового 3D хаотичного генератора із квадратичною нелінійністю

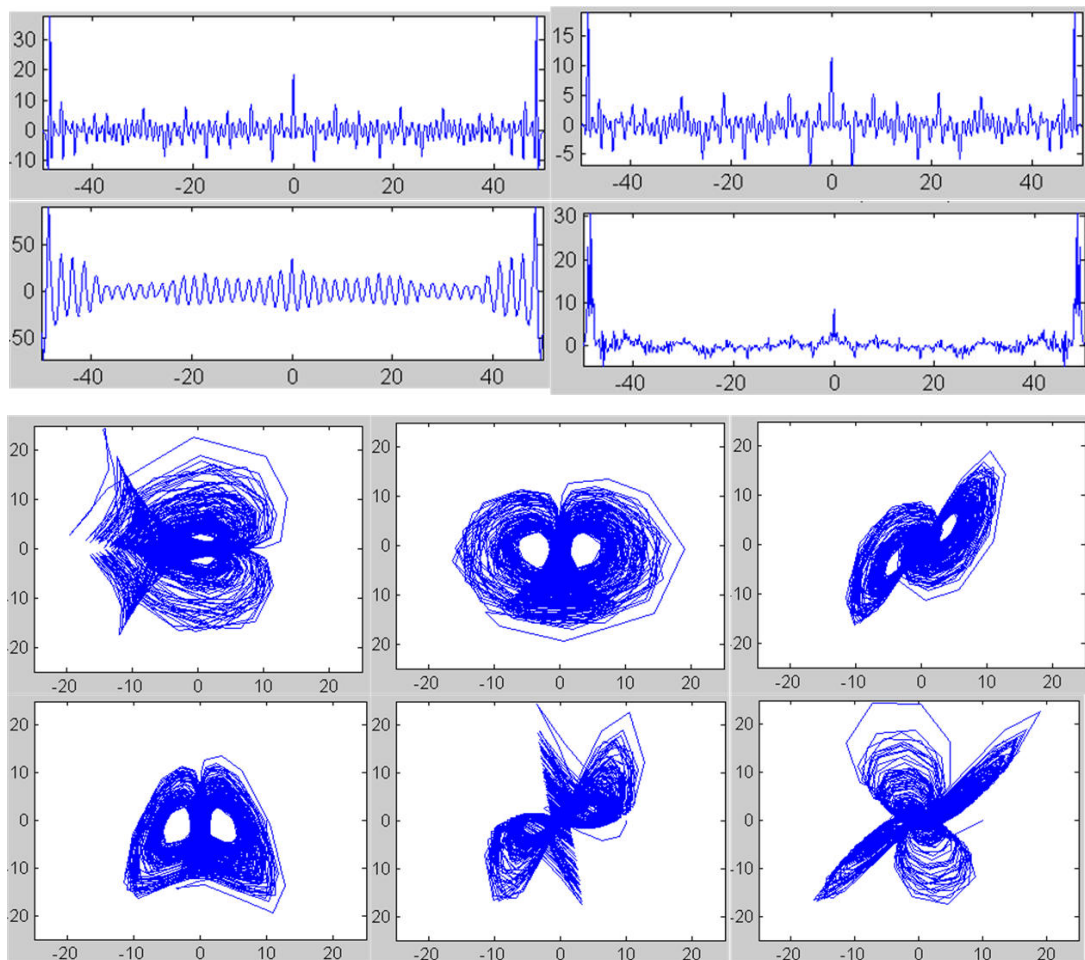


Рисунок А.3 – Автокореляційні функції (вверху) та фазові портрети (внизу) типового 3D хаотичного генератора із квадратичною нелінійністю

ДОДАТОК Б

СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ НА БАЗІ ХАОТИЧНИХ СИГНАЛІВ

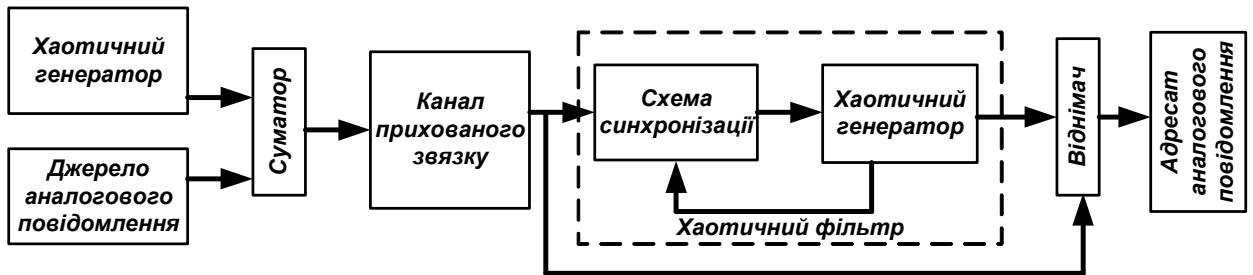


Рисунок Б.1- Структурна схема історично першої системи передачі інформації із використанням хаотичних сигналів на основі хаотичного маскування

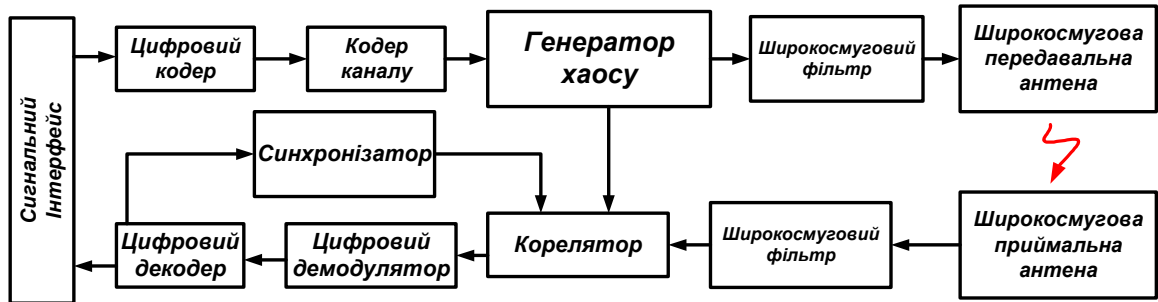


Рисунок Б.2 – Структурна схема прямохаотичної системи зв'язку із модуляцією за параметром біфуркації

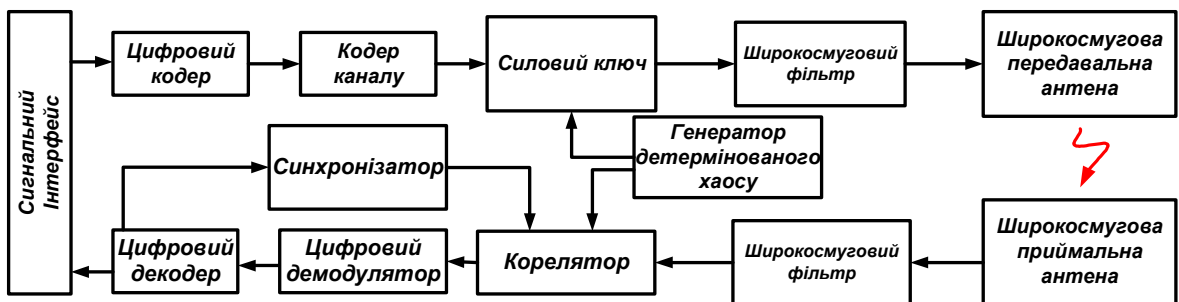


Рисунок Б.3 – Структурна схема імпульсної прямохаотичної системи зв'язку

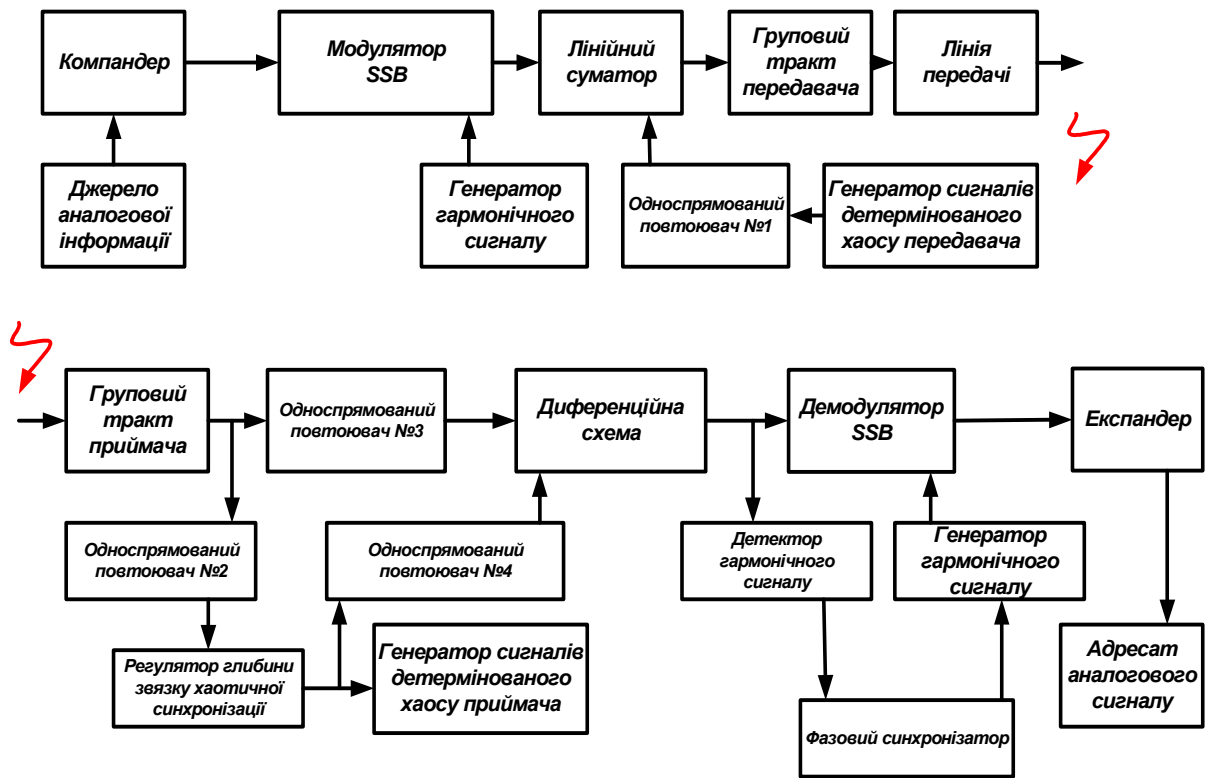


Рисунок Б.4 – Структурна схема аналогової низькочастотної хаотичної системи зв'язку на основі хаотичного маскування

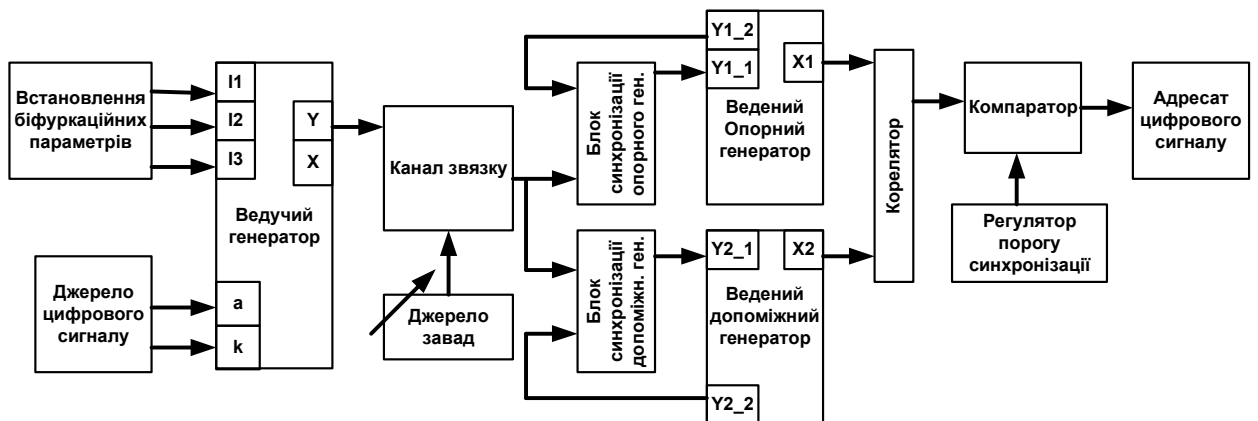


Рисунок Б.5 – Структурна цифрової системи із використанням повної синхронізації та ідентифікації по різним фазовим змінним

ДОДАТОК В

СУБМОДЕЛІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ
СИНХРОНІЗЦІІ ГЕНЕРАТОРІВ

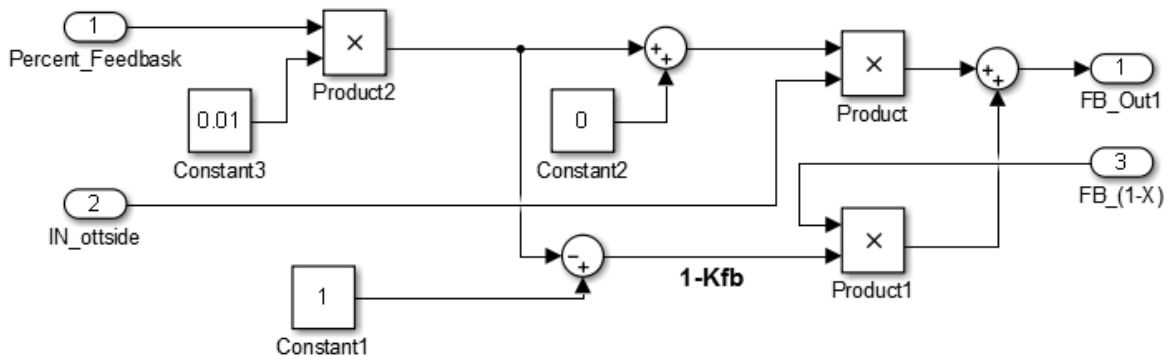


Рисунок В.1 – Функціональна схема введення сигналу синхронізації в генератор хаосу із декомпозицією

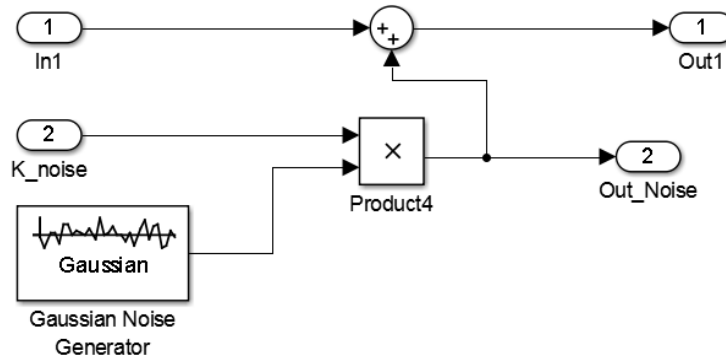


Рисунок В.2 – Функціональна додавання та регулювання білого гаусівського шуму в канал синхронізації

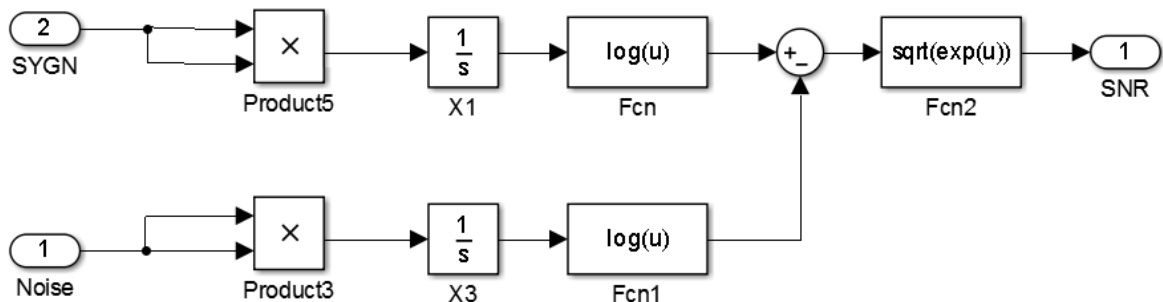


Рисунок В.3 – Функціональна обчислення відношення сигнал-шум в каналі синхронізації

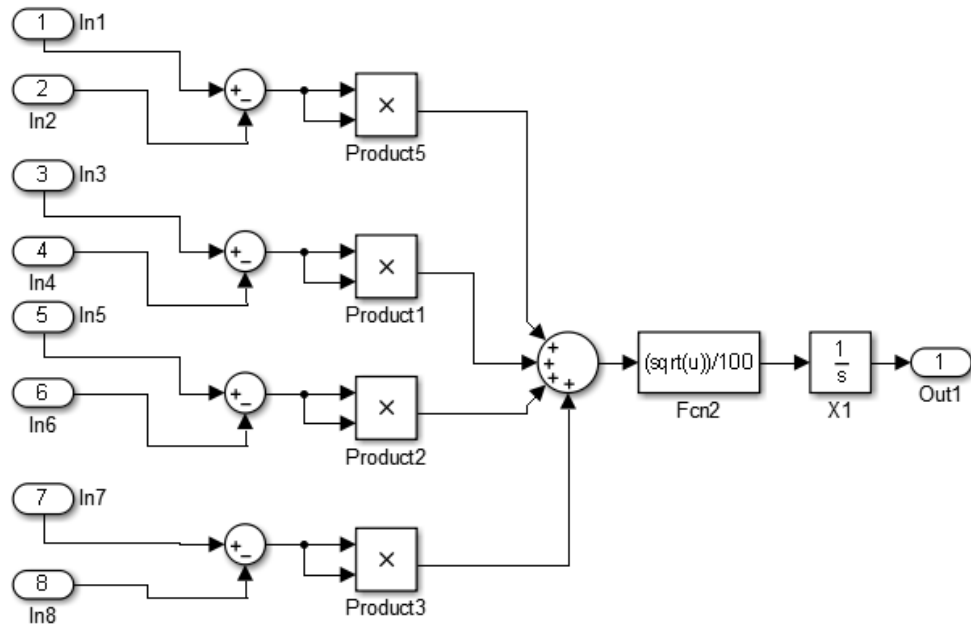


Рисунок В.4 – Функціональна обчислення нормованої багатомірної метричної різниці між фазовими змінним

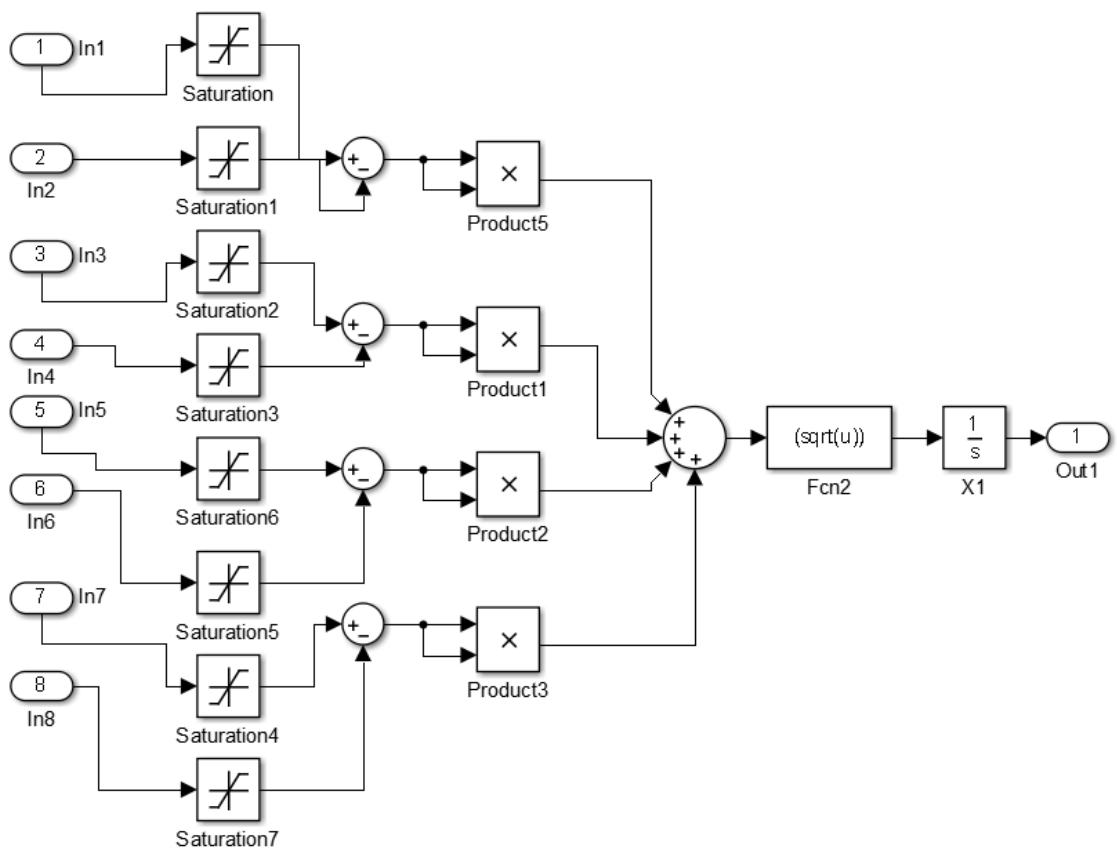


Рисунок В.5 – Функціональна обчислення нормованої багатомірної метричної різниці між фазовими змінним для детектування фазової хаотичної синхронізації

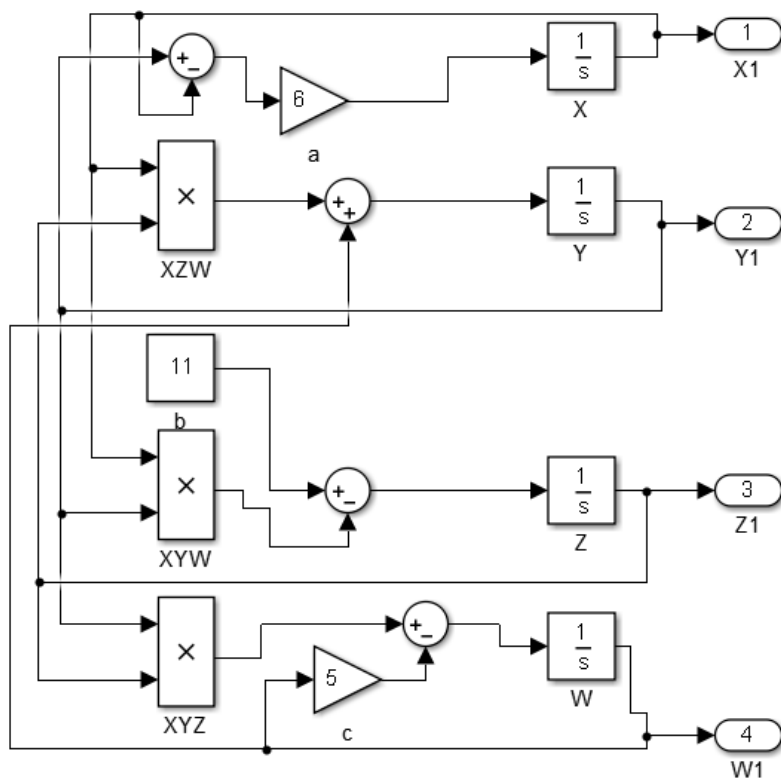


Рисунок В.6 – Імітаційна модель нелінійної динамічної системи 4-го порядку із квадратичною нелінійністю

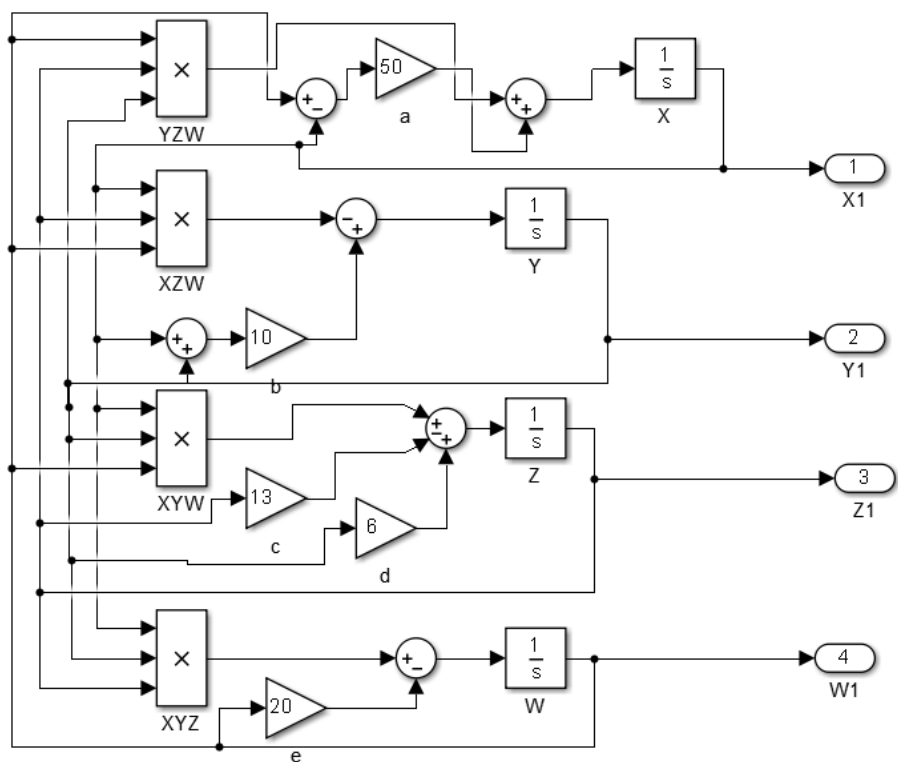


Рисунок В.6 – Імітаційна модель нелінійної динамічної системи 4-го порядку із кубичною нелінійністю

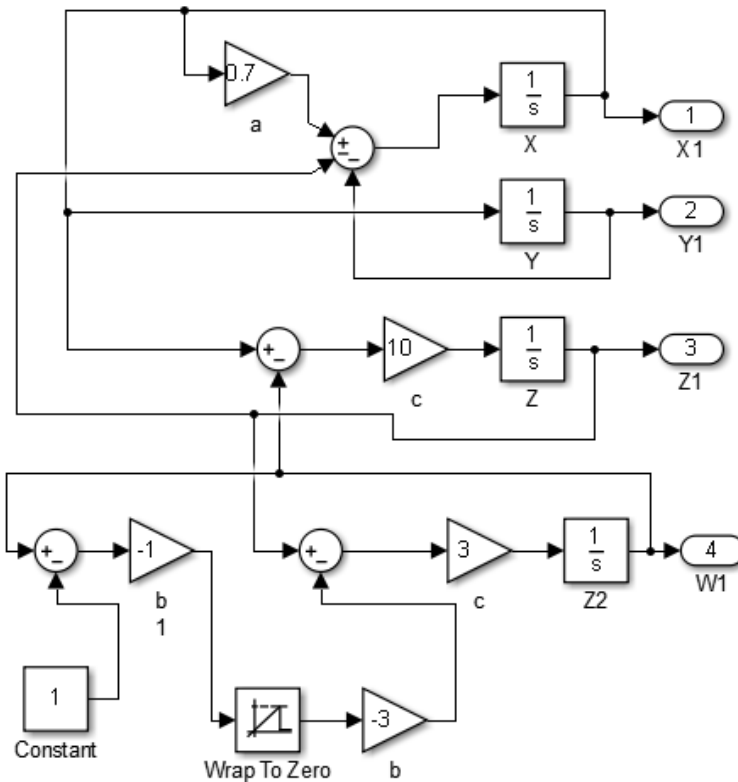


Рисунок В.7 – Імітаційна модель нелінійної динамічної системи 4-го порядку із кусково-лінійною нелінійністю через обмеження

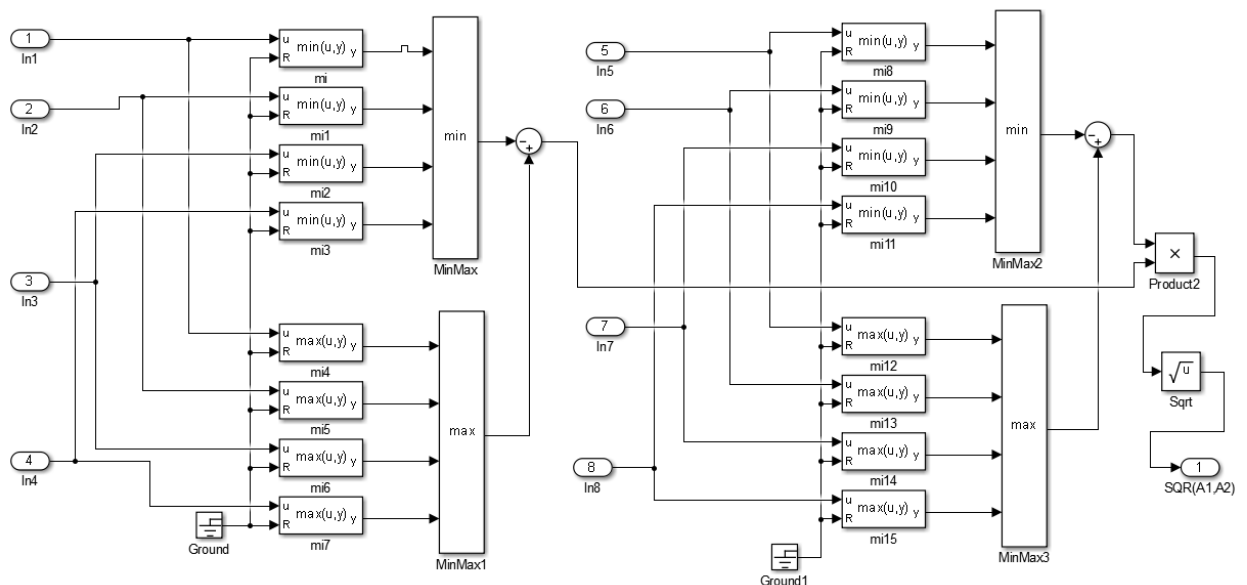


Рисунок В.8 – Блок обчислення відносної середньо геометричної аперттури атракторів багатовимірних нелінійних динамічних систем

ДОДАТОК Г

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ ПЛАКАТИ

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістра із спеціальності "Телекомунікації та радіотехніка"

1

Тема: **Метод забезпечення синхронізації хаотичних генераторів високої розмірності** **Керівник:**
Студент: **Ковбасовська Надія Віталіївна, гр. ТРМ-19-1** Пивовар О.С., доц. каф. ТМІТ, ХНУ
Об'єкт дослідження: **Нелінійні процеси передачі телекомунікаційних сигналів**
Предмет дослідження: **Широкосмугові системи телекомунікацій із хаотичною синхронізацією генераторів детермінованого хаосу**

Мета роботи: Оптимізація структури хаотичних систем телекомунікацій на основі запропонованого методу синхронізації хаотичних генераторів високої розмірності

Задачі:

1. Провести критичний аналіз нелінійних явищ в системах зв'язку із хаотичними сигналами, виділити особливості хаотичної обробки та механізмів їх застосування в телекомунікаційних системах для забезпечення прихованості дії та інших тактичних характеристик.
2. Провести дослідження ряду нелінійних ефектів під час взаємодії хаотичних генераторів передавальної та приймальної частини в умовах узагальненої хаотичної синхронізації генераторів високої розмірності.
3. Розробити метод узагальненої синхронізації, придатний для практичного застосування в хаотичних телекомунікаційних системах прихованого зв'язку.
4. Провести імітаційне моделювання окремих модулів та телекомунікаційної системи загалом для передачі цифрових сигналів через застосування хаотичних сигналів в каналі передачі та хаотичної синхронізації на приймальному боці за запропонованим методом.

КЛАСИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

2

КЛАСИФІКАЦІЙНІ ОЗНАКИ	ЗОНА ДОСЛІДЖЕНЬ	
Можливість самоорганізації	Катастрофічні	Ламінарні
Взаємодія із зовн. середовищем	Відкриті	Закриті
Розсіювання енергії в системі	Дисипативні	Консервативні
Характер динаміки фазових змінних	Аналогові	Дискретні
Структурна будова	Прості	Ієрархічні
Характер динаміки системи	Детерміновані	Стохастичні
Тип оператора еволюції	Нелінійні	Лінійні

За певних внутрішніх умов - детермінований хаос

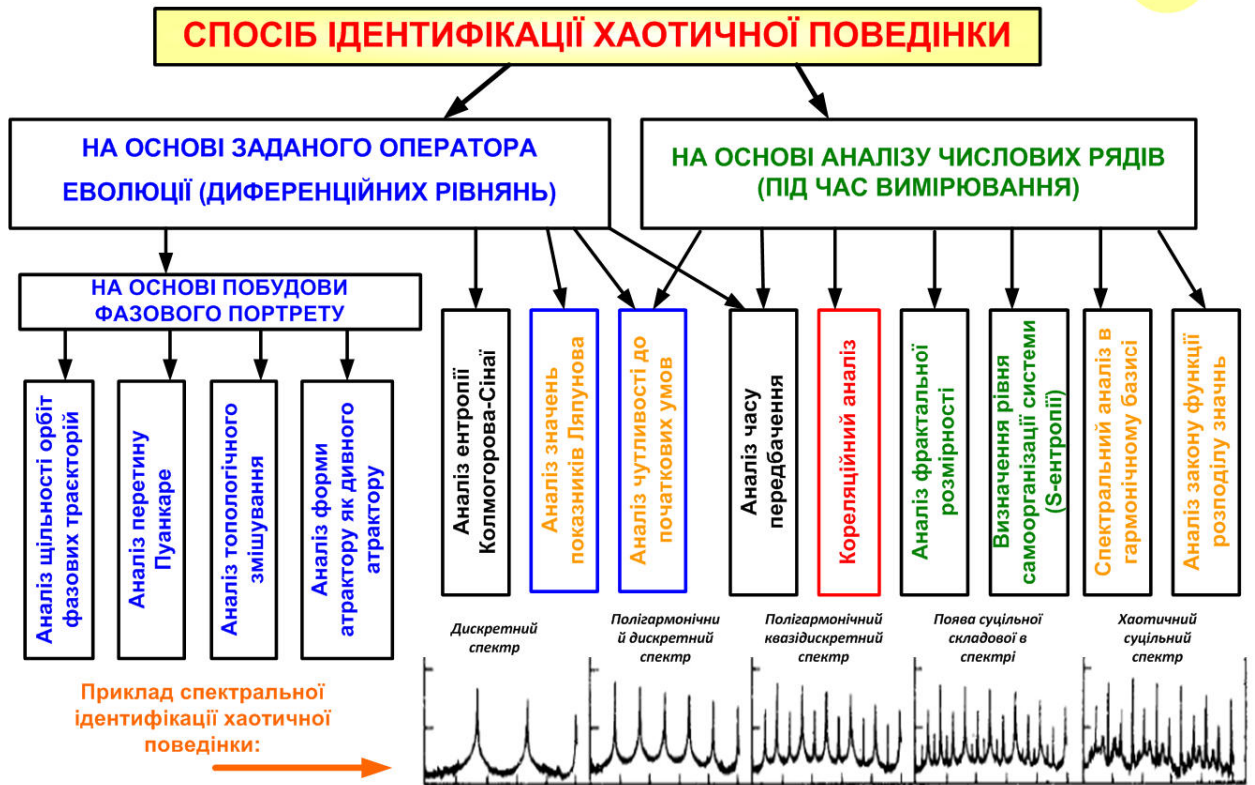
НЕОБХІДНІ УМОВИ ПОЯВИ ХАОТИЧНОЇ ПОВЕДІНКИ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

3



КРИТЕРІЇ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ХАОТИЧНОЇ ДИНАМІКИ

4



ПЕРЕДАЧА ПОВІДОМЛЕНЬ ІЗ ХАОТИЧНОЮ ПІДНЕСІВНОЮ

5

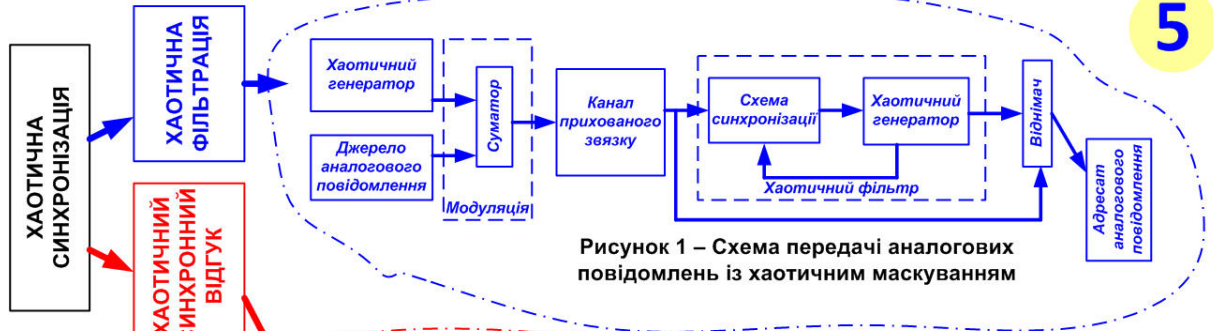


Рисунок 1 – Схема передачі аналогових повідомлень із хаотичним маскуванням

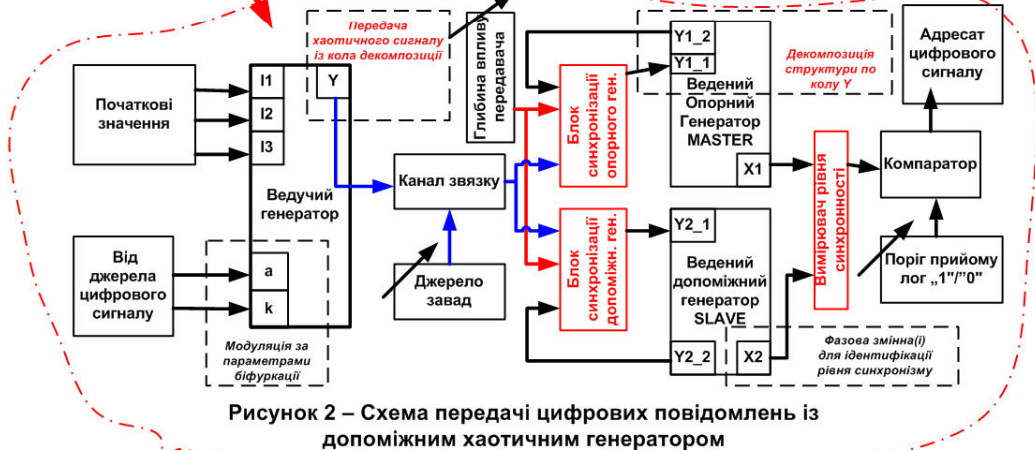


Рисунок 2 – Схема передачі цифрових повідомлень із допоміжним хаотичним генератором

Застосування хаотичних сигналів дозволяє побудувати широкопasmові, завадостійкі системи прихованої дії для роботи в нестандартних каналах зв'язку із комплексним функціоналом апаратних засобів

ХАОТИЧНА СИНХРОНІЗАЦІЯ ГЕНЕРАТОРІВ ІЗ ДЕКОМПОЗИЦІЄЮ

6



Рисунок 1 – Запропонована класифікація хаотичної синхронізації

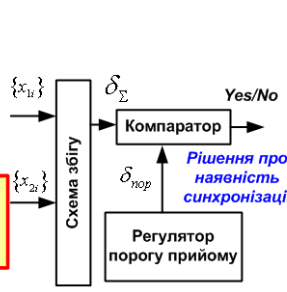


Рисунок 2 – Виявник хаотичної синхронізації

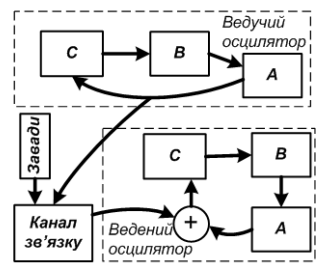


Рисунок 3 – Принцип декомпозиції під час хаотичної синхронізації

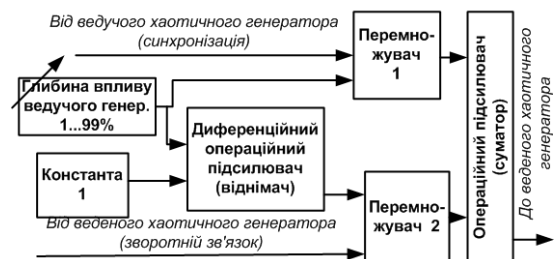


Рисунок 4 – Схема блоку синхронізації за принципом декомпозиції структури хаотичного генератора

АПЕРТУРА ДИВНОГО 4D АТРАКТОРА

7

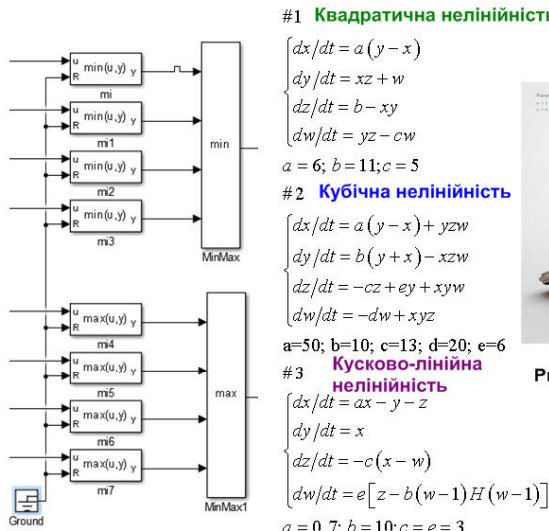


Рисунок 1 – Схема розрахунку аперттури аттрактора та оператори еволюції 4D генераторів хаосу

Апертура аттрактора – максимальний лінійний розмір у N-вимірному просторі

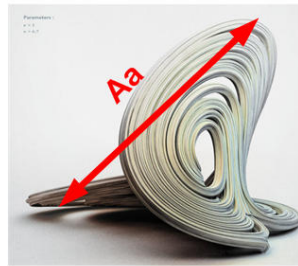


Рисунок 3 – Дивний аттрактор та його аперттура



Рисунок 4 – Способи обчислення аперттури аттрактора

$$A_A = \max [x_{\max}(t), y_{\max}(t), z_{\max}(t), w_{\max}(t)] - \min [x_{\min}(t), y_{\min}(t), z_{\min}(t), w_{\min}(t)]$$

Середня Апертура аттрактора – для аттракторів ведених генераторів хаосу під час синхронізації ведених генераторів:

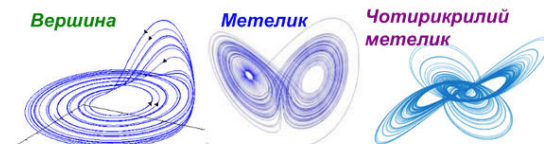


Рисунок 2 – Типові форми дивних аттракторів

Середньогометрична

$$A_{CGA} = \sqrt{\prod_{i=1}^2 \{A_{iA}\}}$$

Середньоквадратична

$$A_{CKBA} = \sqrt{\sum_{i=1}^2 \{A_{iA}\}^2}$$

Під час процесу синхронізації та дії завад аперттура аттракторів ведених генераторів змінюється

КОРЕЛЯЦІЙНІ КРИТЕРІЇ ІДЕНТИЧНОСТІ ХАОТИЧНИХ СИНХРОННИХ ВІДГУКІВ ВЕДЕНИХ ГЕНЕРАТОРІВ

8

Мінімуму функції правдоподібності:

$$\mu = \min_{\tau} \left\{ \frac{\langle (x_2(t+\tau) - x_1(t))^2 \rangle}{\sqrt{\langle x_1(t) \rangle^2 \langle x_2(t) \rangle^2}} \right\}$$

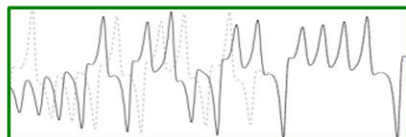


Рисунок 1 – Часовий процес синхронізації ведучого та веденого хаотичних генераторів

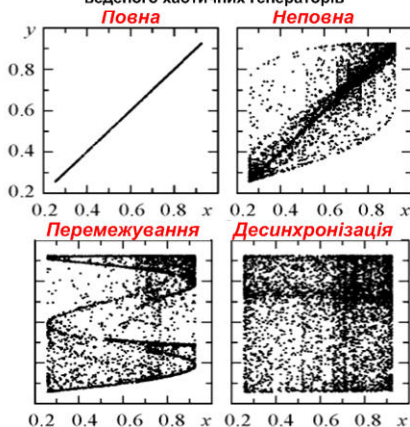


Рисунок 1 – Процес синхронізації ведучого та веденого хаотичних генераторів на фазовій площині

Критерій Пірсона

$$K_{Пир} = \frac{\sum_{i=1}^N \{x_i - M(x)\} \times \{y_i - M(y)\}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \{x_i - M(x)\}^2 \sum_{i=1}^N \{y_i - M(y)\}^2}}$$

СКВ однієї змінної:

$$\Delta M_1 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [(x_{1j} - x_{2j})^2]}$$

Абсолютний критерій лінійної різниці середньоквадратичної похибки

$$\Delta M = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [(x_{1j} - x_{2j})^2 + (y_{1j} - y_{2j})^2 + (z_{1j} - z_{2j})^2 + (w_{1j} - w_{2j})^2]}$$

Відносний критерій лінійної різниці середньоквадратичної похибки

$$\Delta M_{A1} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [(x_{1j} - x_{2j})^2 + (y_{1j} - y_{2j})^2 + (z_{1j} - z_{2j})^2 + (w_{1j} - w_{2j})^2]}{\prod_{i=1}^2 \{A_{CGA}\}}}$$

Відносний критерій лінійної різниці середньоквадратичної похибки

$$\Delta M_{A2} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [(x_{1j} - x_{2j})^2 + (y_{1j} - y_{2j})^2 + (z_{1j} - z_{2j})^2 + (w_{1j} - w_{2j})^2]}{\sum_{i=1}^2 \{A_{iA}\}^2}}$$

Відносний критерій середньоквадратичної похибки фази

$$\Delta M_{A3} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [\text{sign}(x_{1j} - x_{2j}) + \text{sign}(y_{1j} - y_{2j}) + \text{sign}(z_{1j} - z_{2j}) + \text{sign}(w_{1j} - w_{2j})]}{\prod_{i=1}^2 \{A_{CGA}\}}}$$

9

ДЕКОРЕЛЯЦІЯ НЕСИНХРОНІЗОВАНИХ 4D ХАОТИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ПІД ДІЮ ШУМУ

Відносна знакозмінна похибка

$$\Delta M_{A2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[\sum_{i=1}^4 (x_{1ij} - x_{2ij})^2 \right]}$$

Відносна середньоквадратична похибка

$$\Delta M_{A3} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[\sum_{i=1}^4 \text{sign}(x_{1ij} - x_{2ij}) \right]^2 \prod_{i=1}^4 \{A_{ct,i}\}}$$

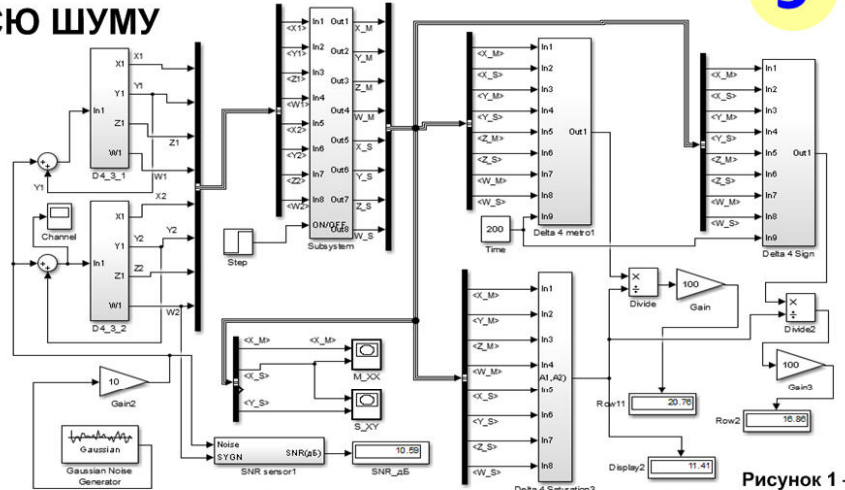


Рисунок 1 – Simulink модель дослідження розбігання фазових траєкторій



Рисунок 2 – Похибка розбігання для 1% відміни біфуркаційних параметрів

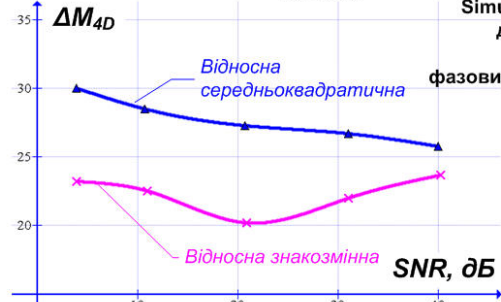


Рисунок 3 – Похибка розбігання для 10% відміни біфуркаційних параметрів

АПЕРТУРА АТРАКТОРА ВЕДЕНИХ ДОПОМІЖНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ПІД ЧАС СИНХРОНІЗАЦІЇ

10

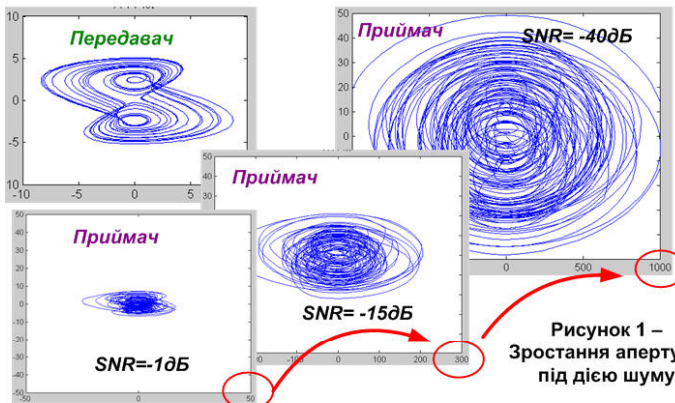


Рисунок 1 – Зростання аперттури під дією шуму

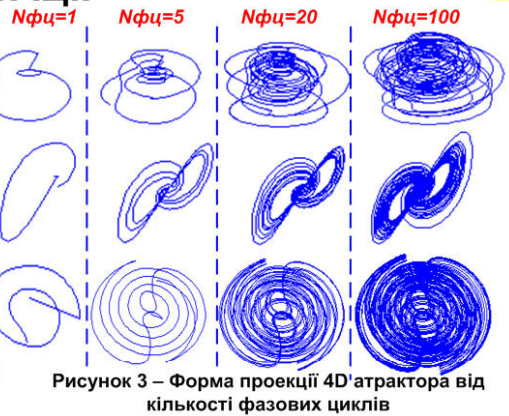


Рисунок 3 – Форма проєкції 4D аттрактора від кількості фазових циклів

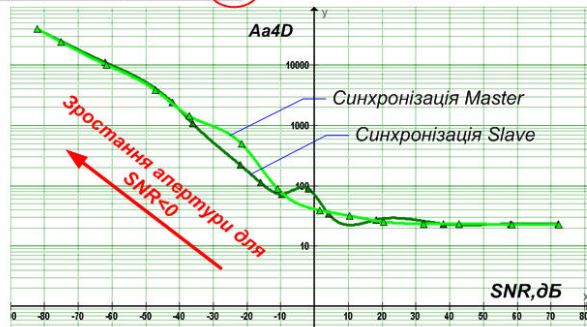


Рисунок 2 – Аперттура аттрактора залежно від SNR для 1% відміни біфуркаційних параметрів



Рисунок 4 – Аперттура аттрактора залежно від часу вимірювання для 1% відміни біфуркаційних параметрів та SNR=1дБ

ВИБІР БІФУРКАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ

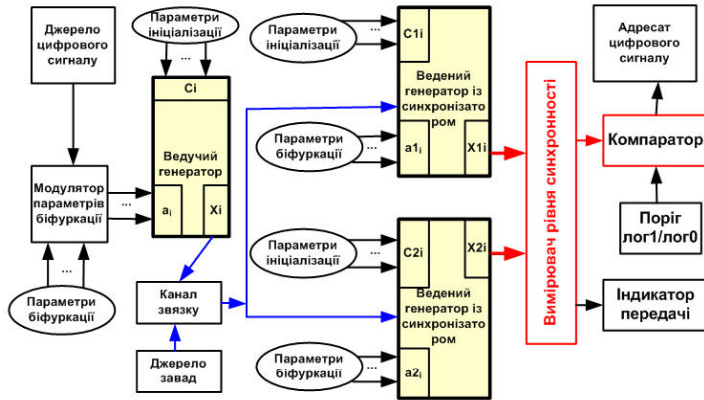


Рисунок 1 – Схема хаотичної модуляції за параметрами біфуркації

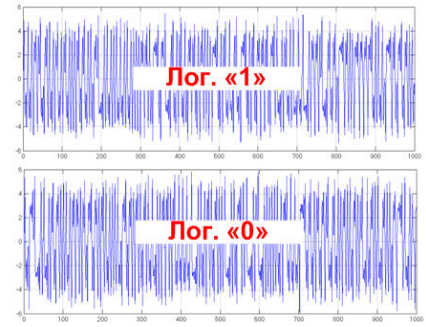


Рисунок 3 – Часові діаграми під час передачі логічних рівнів

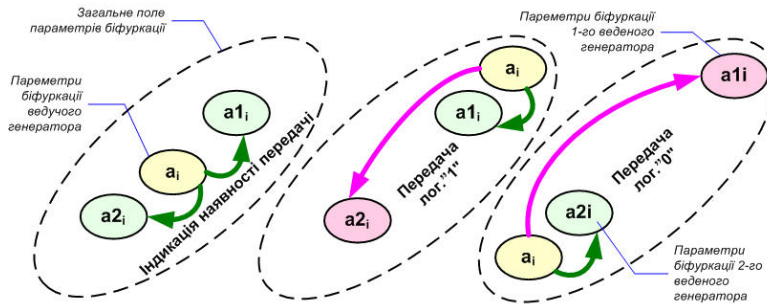


Рисунок 2 – До пояснення принципу вибору поля параметрів біфуркації

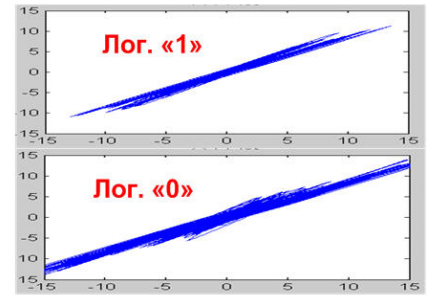
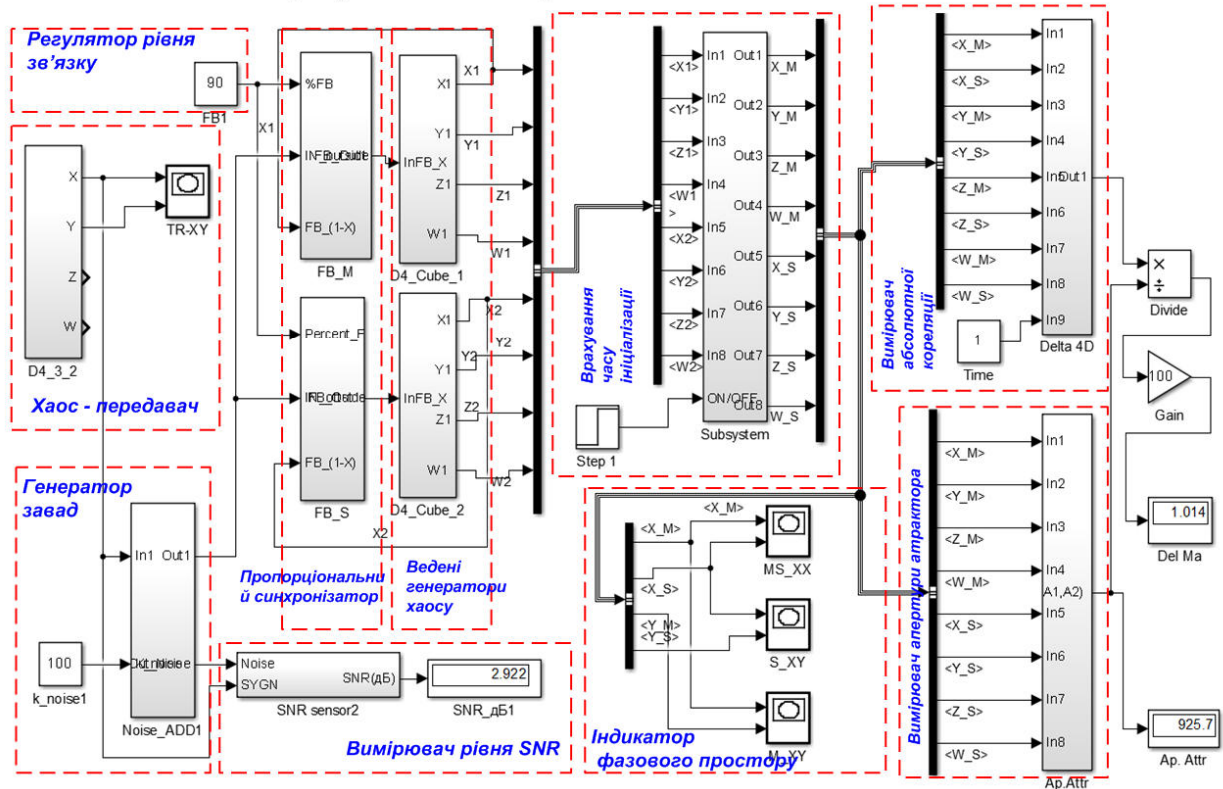


Рисунок 4 – Фазові діаграми однойменних змінних під час передачі логічних рівнів

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАОТИЧНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ (SIMULINK)



РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАПАСУ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІЗ ХАОТИЧНИМИ ПІДНОСІВНИМИ

13

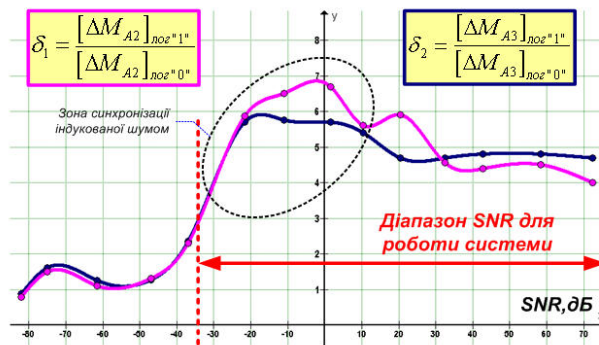


Рисунок 1 – Запас завадостійкості для синхронізації Master

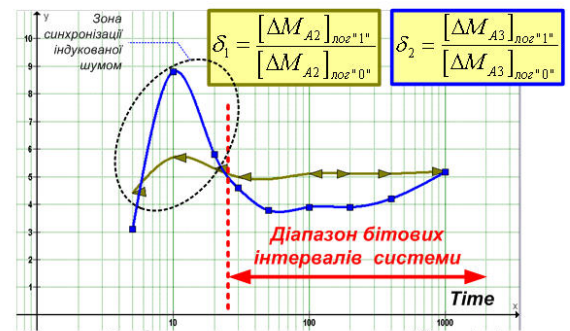


Рисунок 3 – Залежність запасу завадостійкості від кількості фазових циклів

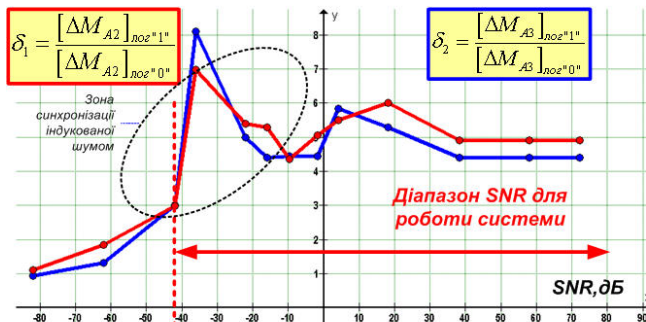


Рисунок 2 – Запас завадостійкості для синхронізації Slave

Умови моделювання:

1. Розлаштування ведених генераторів виявника лог „1” та лог „0” – 5%.
2. Розлаштування передавача та веденого генератора 0,5%.

Головні висновки застосування запропонованого критерію:

1. SNR може сягати до -40дБ !!!
2. Система не потребує адаптації рівня компарації під SNR.
3. Обидва запропоновані критерії працездатні в робочому діапазоні.

ВИСНОВКИ З ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

НАУКОВА НОВИЗНА ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Запропоновано метод синхронізації генераторів детермінованого хаосу, що ґрунтується на врахуванні об'єму атрактора під час застосування допоміжної хаотичної системи та дозволяє забезпечити роботу цифрових хаотичних телекомунікаційних систем за рівня відношення сигнал-шум до мінус 40дБ.
2. Запропоновано метод встановлення рівня співпадіння сигналів основного та допоміжного хаотичного генератора під час однобічної хаотичної синхронізації, що полягає у врахуванні тільки відносної зміни знаку різницевого сигналу по відношенню до середньої аперттури атрактора основного та допоміжного генераторів хаосу, що дозволяє значно спростити апаратні витрати на побудову пропорційного детектора рівня хаотичної синхронізації.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

1. Розглянуто режими роботи, особливості, узагальнені параметри та характеристики динамічних систем, запропоновано класифікаційну схему динамічних систем за рядом ознак, в запропонованій класифікації виділено сукупність ознак, що конкретизують застосування нелінійних динамічних систем у телекомунікаціях.
2. Визначено основні механізми та ознаки переходу нелінійних динамічних систем до хаотичної поведінки, встановлено ряд критеріїв такого переходу, запропонована класифікаційна схема операторів еволюції, динаміка яких може привести до хаотичної поведінки, а також класифікаційна схема способів ідентифікації хаотичної поведінки.
3. Під час розгляду структур правої частини систем диференціальних рівнянь для генераторів детермінованого хаосу 3-го та 4-го порядків запропоновано ряд класифікаційних ознак та класифікацію структури операторів еволюції нелінійних динамічних систем із хаотичною поведінкою.
4. Шляхом імітаційного моделювання виявлено зміна об'єму атрактора ведених хаотичних генераторів під час узагальненої синхронізації. Введено поняття аперттури атрактора, запропоновано ряд методик обрахування значення аперттури атрактора. Врахування аперттури синхронізованих хаотичних генераторів дозволило розробити новий критерій збіжності ведених генераторів за способом виявлення хаотичної синхронізації.
5. Розроблено універсальну імітаційну модель для дослідження передачі цифрових повідомлень на основі синхронних хаотичних відгуків ведених хаотичних генераторів. Проведено моделювання за умов зміни відношення сигнал шум та часового інтервалу дослідження результати моделювання підтвердили працездатність запропонованого методу хаотичної синхронізації для генераторів хаосу високої розмірності.

14

ДОДАТОК Д

СКАН-КОПІЇ ПУБЛІКАЦІЇ АВТОРА

ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТ
КІЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

УДК 355(477)37
ББК 32.26.8-68.49

*Рекомендовано до друку Вченою радою Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка
(протокол від 10.11.2020 № 4).*

Т16 Тези доповідей XVI Міжнародної науково-практичної конференції "Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє" Том I [Текст] / за заг. редакцією Ігоря Толока. – К. : ВІКНУ, 2020. – 293 с.

Опубліковано тези доповідей вчених, наукових і науково-педагогічних працівників Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, інших вищих військових та вищих навчальних закладів України, вітчизняних закордонних фахівців із технічних проблем озброєння і військової техніки та технологій подвійного призначення; актуальних проблем лінгвістичного забезпечення Збройних Сил України; актуальних питань гуманітарного та соціального розвитку Збройних Сил України; інформаційно-психологічної боротьби у воєнній сфері; сучасних інформаційно-комунікаційних технологій сектору безпеки і оборони України; фінансів; актуальних проблем військового права; актуальних проблем геополітичної підтримки військ; наукових проблем військової політології та морально-психологічного впливу; основних засад, принципів та технологій забезпечення кібербезпеки у воєнній сфері

Редакційна колегія:

Толока І.В., ген.-майор, к.пед.н., доц.,
Понков Б.О., п-к, к.військ.н., с.н.с.
Прохоров О.А., п-к, к.пед.н., доц.
Павлуха І.В., п-к, к.т.н., доц.
Гончарук Л.М., п-к, к.філол.н.
Сафін О.Д., д.лнхол.н., проф.
Жарков Я.М., к.і.н., доц.
Поляков О.П., п-к, к.філол.н., доц.
Мась Н.М., п-к, к.лнхол.н.
Слюв А.І., п-к, к.с.н.
Коропатнік І.М., п-к, д.ю.н., доц.
Савков П.А., п-к, к.т.н., доц.
Рижиков В.С., прац. ЗСУ, д.пед.н., проф.
Лепков С.В., прац. ЗСУ, д.т.н., проф.

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

XVI Міжнародної науково-практичної конференції

**"Військова освіта і наука:
сьогодення та майбутнє"**

ТОМ I

27 листопада 2020 року

За загальною редакцією
к.пед.н., доц., заслуженого працівника освіти України
генерал-майора Ігоря ТОЛОКА

© Військовий інститут Київського
національного університету
імені Тараса Шевченка, 2020

Київ – 2020

обробки та складніше апаратну реалізацію, однак забезпечує вищий рівень контролю та покращує чутливість охоронної системи загалом, що ґрунтується на реактивному впливі стороннього об'єкту на електромагнітне поле такої системи розподіленого контролю.

Запропонований метод динамічного магнітного детектування полягає у застосуванні омега-подібних ділянок ліній передачі, що перекриваються, та використанні сигналів детермінованого хаосу для виявлення слабких порушень електромагнітного поля в рамках наявності індуктивного балансу між омега-подібними ділянками сегментів ліній. Індуктивний баланс омега-подібних ділянок дозволяє реалізувати безконтактний контроль наявності динамічних об'єктів в охоронній зоні виключивши вплив стаціонарного навколишнього оточення, а застосування хаотичних сигналів реалізує локалізацію місця порушення та забезпечує високу чутливість системи загалом.

Моделювання та дослідження умов застосування методу проводилось у середовищі Nuregulx та Matlab. Результати моделювання підтвердили правильність запропонованого підходу в тому числі і для диференційних ліній передачі із омега-подібними сегментами в якості неоднорідностей.

Список використаних джерел:

1. Груба І.І. Системи охоронної сигналізації. Технічне средство обслуговування / І.І.Груба. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2012. – 220с.

к.т.н., доц. Пивовар О.С. (ХмНУ)
к.т.н., доц. Браун В.О. (ВІКНУ)
Ковбасовська Н.В. (ХмНУ)

Використання режимів синхронізації хаотичних генераторів високої розмірності

Останнім часом різко зросла зацікавленість фахівців способами застосування генераторів детермінованого хаосу для потреб створення чутливих сенсорів електродинамічної природи, що обумовлено властивостями сигналів детермінованого хаосу щодо широкосмуговості, кореляційних характеристик та можливостей синхронізації таких генераторів на віддалених об'єктах. Висока криптографічна стійкість та прихованість дії систем на основі застосування таких сигналів в першу чергу відноситься до військової галузі.

У хаотичній динаміці традиційно намагаються використати математичні моделі генераторів детермінованого хаосу з мінімальним числом диференціальних рівнянь. Такий підхід безумовно виправданий при вивченні фундаментальних біфуркаційних явищ, проте він виявляється недостатнім при розробці генераторів хаосу на базі високочастотних активних елементів. В цьому випадку розмірність математичної моделі генератора визначається числом і способом з'єднання пасивних елементів. В таких випадках модель активного елемента описується системою диференціальних рівнянь високої розмірності, що приводить до появи високих розмірностей в цілому для

сейсмічного моніторингу окремим пунктом спостереження. Тому виникає необхідність провести аналіз існуючих методів виявлення сейсмічних сигналів з метою визначення пріоритетних напрямків досліджень та надання рекомендацій щодо удосконалення існуючих та розробки нових методів виявлення сейсмічних сигналів, ідентифікації їх складових, визначення місцезоналення осередку сейсмічної події та оцінки її параметрів[2].

Вирішення завдань сейсмічного моніторингу складається з наступних етапів: виявлення сейсмічного сигналу, ідентифікація складових сейсмічного запису (встановлення типів сейсмічних хвиль), локація осередку сейсмічної події, оцінка параметрів сейсмічного джерела. При однопозиційних спостереженнях останні два етапи вирішуються за умови вписаного вирішення задачі виявлення та визначення основних складових сейсмічного запису.

Тому, при аналізі існуючих методів виявлення та обробки сейсмічних даних основна увага приділяється вирішенні задачі розробки нових та удосконалення існуючих методів виявлення сейсмічних та акустичних сигналів с актуальною.

Список використаних джерел:

1. Сочетание датчиков: улучшение ситуационной осведомленности. Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах его выявления // серия: "Техническое оснащение спецслужб зарубежных государств" - 2013. - № 1.

2. Гасилова Л.А., Петухов Ю.В. 1999. К теории поверхностных волн, распространяющихся вдоль разных границ раздела в атмосфере. Известия АН Физика атмосферы и океана, том 35, №1, с. 14-23.

к.т.н., доц. Памлуха І.В. (ВІКНУ)
к.т.н., доц. Пивовар О.С. (ХмНУ)
Грищенко В.Ю. (ХмНУ)

Динамічне магнітне детектування в системах розподілених сенсорів охоронних кабельних систем

Під час побудови охоронних кабельних систем зазвичай застосовують систему сенсорів різноманітного функціонального контролю з'єднаних сегментами ліній передачі. Часто лінії передачі використовуються одночасно як система доставки живлення сенсорів та транспортування сигналів сенсорів до контрольних станцій, не виключено також застосування ліній і для службового зв'язку між диспетчерськими пунктами.

Намагання розширити функціональні властивості елементів охоронних кабельних систем викликало появу численних способів сумісного використання ліній передачі як середовища поширення і безконтактного сенсора електродинамічного впливу з боку порушника системи контролю периметрів об'єктів охорони. Розширення функціонального застосування кабельних систем призводить до необхідності застосування нових методів



ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

XVI Міжнародної науково-практичної конференції

"Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє"

ТОМ 1

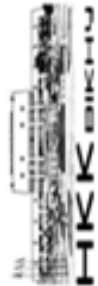
За загальною редакцією к.пед.н., доц.
генерал-майора Ігоря Толока

Тексти тез представлено у авторській редакції. Автори несуть повну відповідальність за зміст, добір, точність наведених фактів, цитат, власних імен, дат та інших відомостей.

Збір, первинна обробка, технічне редагування – Бадрук О.О.
Комп'ютерна верстка, оригінал-макет та обкладинка – Халіманенко С.М.

Підписано до друку 10.11.2020. Формат 60x84^{1/16}.
Гарнітура Times. Папір офсетний. Друк різкограф. Тираж 50.
Умов. друк. аркушів 18. Заскл. № 41-16.

Надруковано в навчальному картографічному комплексі ВІКНУ
03189, Київ, вул. Ломоносова, 81
521-32-89



моделей генератора хаотичних сигналів. Система просторової обробки має мати у своєму складі декілька хаотичних генераторів охоплених системою синхронізації, що ще більше ускладнює аналіз та збільшує розмірність математичних моделей загальною.

Аналіз кореляційних характеристик запропонованих генераторів високої розмірності (N) показав, що кількість фазових змінних, придатних для використання в системах просторового (N=3) обслуговування, охоплених синхронізацією складає не більше ніж N-1. Отже для побудови систем, що здатні працювати в тривимірному просторі слід застосовувати генератори хаосу із розмірністю не менше 4, для яких створено моделі та проведено симуляції роботи під час синхронізації по різним фазовим змінним, що мають високі кореляційні характеристики. Результати моделювання підтверджують можливість одночасної синхронізації за різними фазовими змінними із ефектам типу «синхронізація, ініційована шумом», де рівень синхронізації зростає під час зростання рівню шуму, що можливо лише в нелінійних системах обробки.

Список використаних джерел:

1. Генератор хаотичних сигналів на основі системи диференційних рівнянь з чотирма змінними / П.В. Іванюк, Л.Ф. Політанський, Р.Л. Політанський// Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – 2012. Том 11. № 3. – С. 347–353.

к.т.н., доц. *Романішина О.В. (ХНУ)*
Бадрук О.О. (ВІКНУ)

Комп'ютерні технології навчання працівників з охорони праці

Однією з основних умов зняття виробничого травматизму на підприємствах є вдосконалення технології навчання працівників питанням без-песи і охорони праці. Комп'ютерні програми «Наочна безпека продукції та охорона праці», розроблені у Петербурзькому державному університеті шляхів (ПГУПС) містять у собі близько десятка тисяч малюнків, фотографій, схем і коміксів зі звуковим супроводом, і навіть фрагменти відеофільмів і анімації. Традиційна форма навчання, включаючи інструктажі, найчастіше, найіяс аудіу. Причому, важко знітуувати цьому інженера з охорони праці, або інших, які проводять навчання, оскільки дуже багато зусиль і часу піде на організацію таких занять. Це досягти шляхом застосування мультимедійних комп'ютерних технологій навчання. З отриманим інформації у вигляді зображень "включається" права пішула мозку, який відповідає за формування образного мислення, який спривє перекладу інформацією підсвідомо пам'яттю. м. Кожна із програм серії, що отримала назву «Наочна безпека продукції та охорона праці», є комплексним навчальним посібником та у містять лі у собі два основні компоненти: електронний посібник (блок вивчення матеріалу) і системи самоконтролю знань (блок, до складу якого входять: контрольні питання, оцінка правильності відповідей та пояснення,

БК 74.480.278
С.88

«Інтелектуальний потенціал – 2020» - збірник наукових праць молодих науковців і студентів / Колектив авторів – Хмельницький: ПВНЗ УЕП, 2020. – Частина 2. – ___ с.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Хмельницький національний університет

Військовий інститут Київського національного університету
ім.Тараса Шевченка

ПВНЗ “Університет економіки і підприємництва”

Вінницький національний технічний університет

Західноукраїнський національний університет

Відповідальний редактор: Желавська Н.В.

Відповідальний за випуск: Чешун В.М.

Редакційна колегія:

Желавський О.Б.

Кльоц Ю.П.

Чешун В.М.

Тимофєєва Л.В.

Інтелектуальний потенціал - 2020

збірник наукових праць молодих науковців і студентів

сформовано за матеріалами
Всеукраїнської науково-практичної конференції
молодих науковців і студентів
«Інтелектуальний потенціал – 2020»

9-10 листопада 2020 р.

Частина 2

Хмельницький
2020

© Університет економіки і підприємництва

Імітаційна модель для дослідження хаотичної синхронізації нелінійних динамічних систем

Ковбасовська Н.В., Грищенко В. Ю.
 Науковий керівник: к.т.н. доц. Пивовар О.С.
 Хмельницький національний університет

До недавнього часу в рамках дослідження синхронізації розглядалися в основному процеси взаємного впливу гармонічних осциляторів. Із розвитком теорії динамічного хаосу (ДХ) було знайдено велику кількість нелінійних динамічних систем (НДС) що демонструють хаотичну синхронну поведінку у зв'язаних системах – хаотичну синхронізацію (ХС) [1].

Особливу роль під час дослідження ХС відіграють діючі на систему шуми – стохастичні завади. В класичних системах шум відіграє деструктивну роль та приводить до втрат інформації, а базовий спосіб боротьби з такою завадою – кореляційна обробка. В НДС шум може відігравати не тільки деструктивну, але і конструктивну роль, наприклад, загальний шум може призвести до ХС НДС систем, що слабо взаємодіють між собою. Такий різновид називають ХС, індукованою шумом.

Під час розгляду ХС також вживають термін «хаотичний синхронний відгук», що застосовується для хаотичних осциляторів (ХО) які можуть бути представлені у вигляді кільцевої структури (рисунок 1), де кільце зворотного зв'язку ХО розривається і в певній пропорції додається сигнал ведучого ХО. При цьому виділяють ряд режимів ХС: повну, лаг, узагальнену, частотну, фазову, часткову, масштабування (рисунок 1) [2].

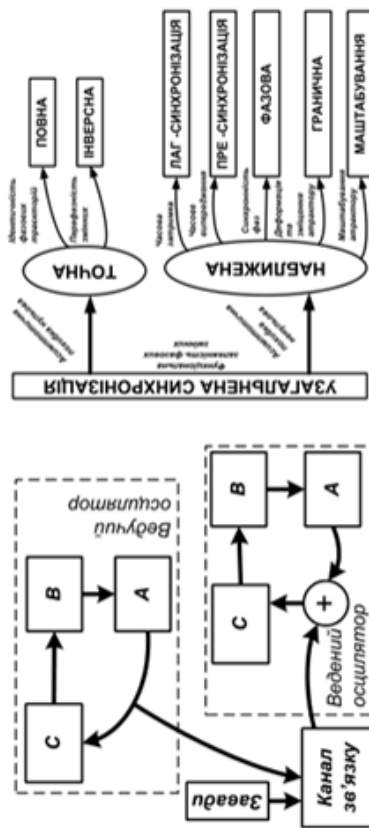


Рисунок 1 – Декомпозиція хаотичних генераторів для отримання хаотичного синхронного відгуку (ліворуч) та класифікаційні ознаки та варіанти узагальненої хаотичної синхронізації

ЗМІСТ

Атаманюк А.В., Джулій В.М., Кльоц Ю.П. Дослідження проблем інформаційної безпеки в інформаційно-телекомунікаційних мережах 5

Бабич І.Р., Яшина О.М. Модель тренувального процесу та метод обробки музичних даних програмної системи генерування музичних творів із використанням штучного інтелекту 9

Гавронський В.С., Муляр І.В., Яцків В.В. Метод тестування на проникнення як засіб забезпечення безпеки корпоративної мережі 18

Гончар Р.М., Орленко В.С., Чешун В.М. Оптиміальне кодування як засіб підвищення захищеності передачі шифрованих даних 21

Гулечко М.С., Джулій В.М., Тітова В.Ю. Аналіз поточного стану дій в області захищеної IP- телефонії 30

Дашенко В.С., Тітова В.Ю., Шевчук І.М. Інформаційна модель захисту інформації 34

Дашко Р.М., Муляр І.В. Метод приховування великого об'єму даних в файлах формату JPEG 37

Джулій В.М., Лукін В.С., Чешун В.М. Метод створення віртуальних полігонів на основі технологій хмарних обчислень системи управління базами даних 42

Казіміров В.О., Мостовий С.В., Орленко В.С. Метод захисту від загрозливих програм, заснований на реалізації контролю доступу до файлових об'єктів 45

Ковбасовська Н.В., А.М., Грищенко В.Ю., Пивовар О.С. Імітаційна модель для дослідження хаотичної синхронізації нелінійних динамічних систем 49

Машевський В.О., Яшина О.М. Модель програмного комплексу для реалізації методу інтерактивного групового навчання 52

Мілер В.М., Орленко В.С. Вдосконалення методу проскування вебдодатків на основі об'єктно-реляційного перетворення 56

Мозолок В.О., Джулій В.М. Дослідження проблем ідентифікації об'єктів в базах даних 60

Присянок В.В., Андрушук О.С. Проблеми та перспективи побудови систем управління ресурсами інформаційних комунікаційних мереж 64

3 точки зору математичної моделі без впливу шуму, під час запуску динаміки, обидва ведені ХО мають демонструвати ідентичну хаотичну поведінку. На практиці ж ми маємо ситуацію неможливості забезпечення однаковості функціонального опису та початкових параметрів ХО і під час відсутності сигналу синхронізації фазові траєкторії ведених ХО розбігаються, що призводить до декореляції їх часових залежностей.

Для фіксації рівня розбіжності фазових траєкторій можливо застосувати міру [2]: метричної або абсолютної відстані, фазового співпадіння, об'єму атратора, Ляпунова, модифікованої системи, тощо. В переважній більшості в практичних схемах ХС застосовують міру середньоквадратичного відхилення однієї фазової змінної.

Ідентифікація режиму ХС в імітаційній моделі може відбуватись на основі аналізу часового ряду однієї фазової змінної, а синхронізація відбуватись по іншій фазовій змінній. Не виключена можливість також роботи по якійсь одній фазовій змінній, або паралельна як синхронізація та аналіз по декільком фазовим змінним.

Імітаційна модель (рисунок 2) має у своєму складі субмодулі, що забезпечують: формування типу каналу зв'язку, генерацію завад певного типу, вимірювання відношення сигнал-завада, підключення ХО із різними операторами еволюції та використання різних алгоритмів встановлення режиму хаотичної синхронізації.

Розроблена імітаційна модель під час використання дозволила зробити ряд висновків та рекомендацій щодо процесу ХС для НДС, що описується системою диференціальних рівнянь:

1. Чутливість появи ХС до зміни біфуркаційних параметрів різко зростає із зростанням кількості рівнянь в системі від 5% для системи 3-го порядку до 0,1% для системи 4 порядку.
2. Чутливість появи ХС зростає із зростанням порядку нелінійності для НДС із поліноміальною нелінійністю.
3. Поява ХС індукованої шумом для НДС високого порядку різко обмежує можливість застосування методу допоміжної системи для виявлення ХС.
4. Під час використання ХО із великою кількістю біфуркаційних параметрів, найбільш доцільно для встановлення ХС застосовувати одночасну варіацію декількох параметрів.

Перелік посилань

1. Прикладне застосування теорії хаотичних систем у телекомунікаціях: монографія / Ю. Я. Бобало, С. Д. Галюк, М. М. Климан, Р. Л. Політанський; Міністерство освіти і науки України, Національний університет "Львівська політехніка". – Львів; Дрогобич: Коло, 2015. – 184 с.
2. Boccaletti S. The synchronization of chaotic systems / S. Boccaletti, J. Kurths, G. Osipov, D. L. Valladares, and C. S. Zhou // Physics Report. – 2002. – Vol. 366. – № 1-2. – P. 1-101.

Режим узагальненої синхронізації означає, що після завершення перехідних процесів між станами ведучої та веденої НДС в режимі генерації хаотичних сигналів між ними встановлюється певний чіткий аналітичний зв'язок, виявити який іноді досить важко, а іноді зв'язок може бути і фрактальним. Із загальної точки зору всі різновиди ХС зводяться до узагальненої ХС, в залежності від того, в якому аспекті розглядати функціональну залежність між фазовими змінними ведучої та веденої НДС.

Якщо розглядати функцію в узагальненій ХС в аспекті забезпечення асимптотичної точності синхронізації в реальних дільниках часу, то всі різновиди ХС можливо поділити на точні та наближені (рисунок 1). Для практичного втілення найбільш часто застосовують режим повної синхронізації, що забезпечує тотожність змінних ГДХ на обох боках системи (одинаривна функція зв'язку).

Діагностувати наявність узагальненої ХС можливо способом допоміжної системи [3]. Імітаційна модель якої розроблена авторами в середовищі Simulink (рисунок 2). Для реалізації такого способу ідентифікації наявності повної ХС між двома ХО застосовують дві НДС із однаковими операторами еволюції та початковими параметрами, що називають веденими ХО із декомпозицією (рисунок 1), сигнал на які від ведучого ХО подається одночасно та в однаковій пропорції із власним сигналом зворотного зв'язку.

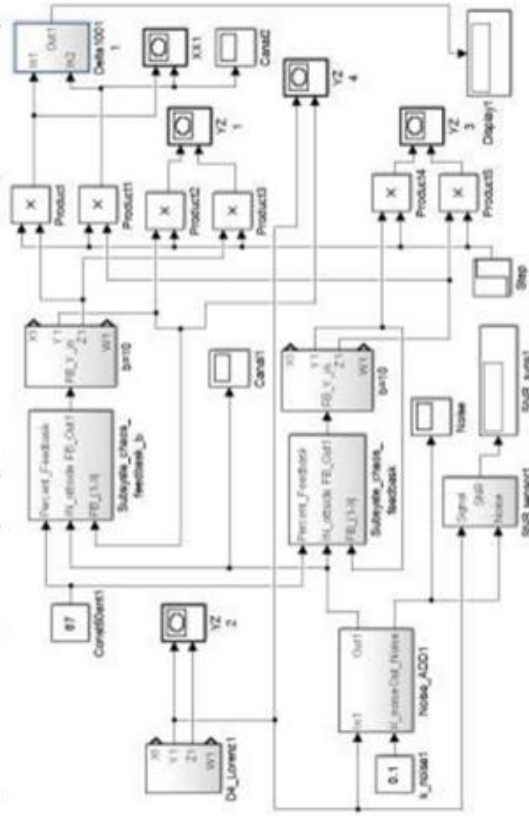


Рисунок 2 - Модель Simulink для дослідження способів хаотичної синхронізації генераторів високої розмірності

3. Галюк С. Д. Особливості синхронізації хаотичних систем (огляд) // С.Д. Галюк., Л.Ф. Політанський, М.Я. Кушнір, Р.Л. Політанський // Складні системи і процеси. – 2011. – №2. – С. 3–29.

«Інтелектуальний потенціал – 2020» - збірник наукових праць молодих науковців і студентів / Колектив авторів – Хмельницький: ПВНЗ УЕП, 2020. – Частина 2. – ___ с.

Модель програмного комплексу для реалізації методу інтерактивного групового навчання

Машевський В. О.

Науковий керівник – к.т.н., доцент Яшина О. М.
Хмельницький національний університет

В сучасних умовах бурхливо розвиваються інтерактивні технології, зокрема й в освіті, що надає більших можливостей ефективно і якісно організовувати освітній процес. Враховуючи сучасні виклики та реалії, які постають перед освітою в період пандемії COVID-19, питання створення та реалізації методів інтерактивного групового навчання в різних галузях науки в цілому, та з програмування зокрема, стає дедалі актуальнішим.

Поява різноманітних спеціалізованих додатків для навчання останнім часом стала розглядатись, як можливість використання таких мобільних засобів в загальноосвітньому процесі. Аналіз та оцінка сучасних світових тенденцій демонструє життєву необхідність застосування в навчальній діяльності мобільних засобів для вирішення різноманітних педагогічних задач, організації віддаленого доступу до загальномережевих і спеціалізованих ресурсів та сервісів.

Об'єктом даного дослідження є інтерактивне навчання із застосуванням мобільних технологій. Предмет дослідження – моделі та механізми створення зручного методу групового навчання основ програмування.

З психологічної точки зору інтерактивним навчанням називають спеціальний тип організації освітнього процесу, який здійснюється у форматі спільної діяльності студентів, що дає можливість всім учасникам взаємодіяти один з одним, обмінюватися інформацією, спільно вирішувати проблеми, моделювати ситуації, оцінюють дії інших, занурюватися в атмосферу так званого ділового співробітництва з вирішенням поставлених викладачем проблем. Проте саме поняття «інтерактивність» прийшло з лексикони комп'ютерних технологій.

На даний момент не представлена єдина класифікація інтерактивних технологій, однак, розглядаючи їх з позиції форм навчання, можна виділити наступні типи:

- а) кооперативне навчання;
- б) колективно-групове навчання;
- в) ситуативне моделювання;

Відповідальність за зміст текстів і якість редагування матеріалів покладена на авторів і наукових керівників.

Комп'ютерна верстка: Чешун В.М.
Комп'ютерна верстка: Чешун В.М.
Дизайн Хмельовський В.Р.

Здано до складання 09.11.20. Підписано до друку 09.11.20. Формат 60x84/16. Папір друкарський. Тираж 50 прим. Умовних друкованих аркушів – 7,5.
Редакційний відділ ПВНЗ УЕП 29016, м. Хмельницький, вул. Львівське шосе, 51/2.

ББК 74.480.278
С.88

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 1.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибок в документах: 8%

ID: 81557 Название: Метод забезпечення синхронізації хаотичних генераторів високої розмірності Добавлено в БД: 2020-11-29 Авторы: Ковбасовська Надія Віталіївна Руководители: Пивовар Олег Сергійович Консультанти: Оponentы:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	107485	1669	949 (1%)	19 (1%)

Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы



Имя пользователя:
Kafedra TMIT KhNU

ID проверки:
1005270254

Дата проверки:
29.11.2020 19:33:44 EET

Тип проверки:
Doc vs Internet + Library

Дата отчета:
29.11.2020 19:56:09 EET

ID пользователя:
100005657

Название файла: Ковбасовська_Трм-19-1 to antiplag

Количество страниц: 95 Количество слов: 17726 Количество символов: 139481 Размер файла: 2.26 MB ID файла: 1005393162

2.58% Совпадения

Наибольшее совпадение: 1.27% с Интернет-источником (<https://nure.ua/wp-content/uploads/dissertacija-kurskogo-2.p..>)

2.53% Источники из Интернета 143 Страница 97

0.17% Источники из Библиотеки 3 Страница 98

0% Цитат

Исключение цитат выключено

Исключение списка библиографических ссылок выключено

0% Исключений

Нет исключенных источников

Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы 42

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну роботу студента групи ТРМ-19-1
Ковбасовської Надії Віталіївни

«Метод забезпечення синхронізації хаотичних генераторів високої розмірності»

Дипломна робота присвячена розгляду питань синхронізації нелінійних динамічних систем у хаотичному режимі в умовах дії адитивних завад в телекомунікаційному каналі.

Актуальність теми підтверджується застосуванням в якості каналних підносівних сучасних телекомунікаційних систем сигналів детермінованого хаосу, що володіють високими кореляційними та взаємкореляційними та можуть разом із хаотичними методами обробки потенційно забезпечити побудову системи із високим рівнем прихованості дії та криптографічної стійкості.

В дипломній роботі магістра ставиться та виконується ряд завдань, серед яких:

- проведено критичний аналіз нелінійних явищ в системах зв'язку із хаотичними сигналами, виділено особливості хаотичної синхронізації та механізми їх застосування в телекомунікаційних системах для забезпечення прихованості дії та покращення інших тактичних характеристик.

- проведено дослідження ряду нелінійних ефектів під час взаємодії хаотичних генераторів передавальної та приймальної частини в умовах узагальненої хаотичної синхронізації генераторів високої розмірності;

- розроблено метод узагальненої синхронізації, придатний для практичного застосування в хаотичних телекомунікаційних системах прихованого зв'язку, що ґрунтується на понятті апертури дивного атрактора;

- проведено імітаційне моделювання окремих модулів та телекомунікаційної системи загалом для передачі цифрових сигналів через застосування хаотичних сигналів в каналі передачі та хаотичного синхронного відгуку за запропонованим критерієм ідентифікації збіжності на приймальному боці.

Робота складається із вступу, 3 розділів, основних висновків по роботі, списку використаних джерел (48 бібліографічних посилання, 5 сторінок) та 5 додатків (22 сторінок). Загальний обсяг роботи в якому викладено основний зміст складає 78 сторінок і містить 35 рисунків на 35 сторінках по тексту та 2 таблиці, що займають 0,8 сторінки по тексту. Повний обсяг роботи - 123 сторінок.

Робота складається із трьох розділів, перший із яких присвячений аналізу хаотичних режимів роботи нелінійних динамічних систем, умови та критерії появи хаотичної динаміки. В цьому ж розділі підкреслюється, що перспективними до використання в системах прихованого зв'язку є сигнали детермінованого хаосу генераторів високої розмірності.

Другий розділ присвячено розробці моделей хаотичної синхронізації та можливостям їх практичного застосування в телекомунікаційних системах, окрема

увага приділена діагностуванню режимів синхронізації та організації зв'язку на основі застосування сигналів детермінованого хаосу.

Третій розділ присвячено імітаційному моделюванню. Побудовано та досліджено моделі генератора, модель синхронізації, модель кореляторів та загальна універсальна модель роботи системи на основі застосування хаотичних сигналів. Запропоновано поняття апертури атрактора, яке використано під час розробки методу синхронізації ведених хаотичних генераторів для забезпечення високого рівня завадостійкості в умовах адитивних гаусівських завад.

За змістом робота є ґрунтовною (містить загалом більше 120 сторінок тексту) містить велику кількість посилань на літературу, висновки з отриманих результатів сформовані технічно грамотно. Викладення матеріалу є послідовним та логічно пов'язаним, застосовується велика кількість ілюстрацій та додатків. Наведені у роботі формули, припущення та висновки мають достатнє обґрунтування та детальне пояснення. Мова викладення роботи є технічно грамотною, зрозумілою та не перенасиченою спеціальними термінами. Оформлення пояснювальної записки знаходиться на належному рівні, граматичних та стилістичних помилок дуже обмежена кількість.

Серед позитивних сторін магістерської роботи слід відмітити наступне:

- запропоновано метод синхронізації генераторів детермінованого хаосу, що ґрунтується на врахуванні об'єму атрактора під час застосування допоміжної хаотичної системи та дозволяє забезпечити роботу цифрових хаотичних телекомунікаційних систем за рівня відношення сигнал-шум до мінус 40дБ;

- запропоновано метод встановлення рівня співпадіння сигналів основного та допоміжного хаотичного генератора під час одnobічної хаотичної синхронізації, що полягає у врахуванні тільки відносної зміни знаку різницевого сигналу по відношенню до середньої апертури атрактора основного та допоміжного генераторів хаосу, що дозволяє значно спростити апаратні витрати на побудову пропорційного детектора рівня хаотичної синхронізації;

- введено поняття апертури атрактора, запропоновано ряд методик обрахування значення апертури атрактора. Врахування апертури синхронізованих хаотичних генераторів дозволило розробити новий критерій збіжності ведених генераторів за способом виявлення хаотичної синхронізації.

Важливих недоліків робота не містить, завдання на дипломну роботу магістра виконано, але присутні незначні неточності, орфографічні та стилістичні помилки, які не впливають на суть роботи.

В цілому дипломна робота магістра Ковбасовської Надії Віталіївни "Метод забезпечення синхронізації хаотичних генераторів високої розмірності" повністю відповідає вимогам до кваліфікаційних робіт магістра та заслуговує на оцінку "відмінно", а її автор – на присвоєння кваліфікаційного рівня магістра зі спеціальності 172 – "Телекомунікації та радіотехніка".

Рецензент:

д.т.н., проф., зав.каф. АКІТТ



Мартинюк В. В.

Завідувачу кафедри
телекомунікацій, медійних та
інтелектуальних технологій (ТМІТ)
Підченко С.К.
здобувача вищої студента Ковбасовської
Надії Віталіївни
2 курсу, гр. ТРм-19-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайоmlена. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщена та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

1.12.20

дата



підпис

Ковбасовска Н.В.

РІШЕННЯ КАФЕДРИ

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод забезпечення синхронізації хаотичних генераторів високої розмірності

Автор: **Ковбасовська Надія Віталіївна**

Спеціальність: **172 Телекомунікації та радіотехніка**

Освітня програма: Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: **к.т.н., доц. Пивовар Олег Сергійович**

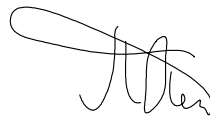
Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	<u>Відповідає</u>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріплення запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження: Запозичення у розмірі 2,6%, виявлені в роботі відповідають тексту стандартних бланків, решта запозичень є випадковими і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.

2.12.2020р.

Науковий керівник роботи:



О.С. Пивовар

Зав. каф. ТМІТ



С.К.Підченко